

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХНВ

(підпис) Я. М. Корнієнко

“ ” _____ 20__ р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

на здобуття ступеня бакалавра

за напрямом підготовки: 13 – Машинобудування

спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

на тему: Модернізація кожухотрубного теплообмінника для охолодження дизельного палива в установках АВТ

Виконав студент IV курсу, групи ЛН-51

Гавриленко Валерія Вадимівна

Керівник проекту канд. техн. наук, ст. викл. Р. В. Сачок
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:
з охорони праці канд. техн. наук, доцент І. М. Ковтун
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____ В. В. Гавриленко

Київ – 2019

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітній ступінь: бакалавр

Напрямок підготовки: 13 – Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Я. М. Корнієнко

“__” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Гавриленко Валерії Вадимівні

1. Тема проекту: Модернізація кожухотрубного теплообмінника для охолодження дизельного палива в установках АВТ.

Керівник проекту кандидат технічних наук, старший викладач Р.В. Сачок.

Затверджена наказом по університету від “__” _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту: 1 червня 2019р.

3. Вихідні дані до проекту: дизельне паливо; продуктивність – 6000 кг/год; температури дизельного палива: на вході в теплообмінник – 473 К, на виході – 333 К; для охолодження використовувати воду; температури води: на вході в теплообмінник – 313 К, на виході – 363.

4. Зміст пояснювальної записки: а) основна частина: розглянути існуючі конструкції теплообмінників, обґрунтувати вибір конструкції апарата; проаналізувати обрану

конструкцію в порівнянні з кращими вітчизняними та світовими аналогами; здійснити розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції: параметричний, конструктивний та гідравлічний, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкції апарату; виконати складальне креслення теплообмінника та його основних складальних одиниць і деталей; розробити рекомендації щодо монтажу та експлуатації теплообмінника; здійснити оцінку рівня стандартизації та уніфікації розробки;

б) охорона праці: провести аналіз відповідності апарата до вимог охорони праці, викласти основні вимоги безпечної експлуатації апарата;

в) рекомендації щодо монтажу та експлуатації: надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації теплообмінника;

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових

креслеників, плакатів, презентацій тощо): принципова схема установки – А1, кресленик складальний: теплообмінник – А1, трубчатка – А1, корпус – А2, опора – А3, кришка – А3, ілюстрація до технічної ідеї патенту – А2.

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І. М.		

6. Дата видачі завдання: 15 квітня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Терміни виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	2	3	4
1	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності проекту.	18.09.18	
2	Патентне дослідження. Формування змісту модернізації (на основі зміни технологічної схеми, конструкції апарату, його елементів).	01.02.19	
3	Оформлення та подання заявки на корисну модель	01.02.19	
4	Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкції конденсатора. Технічна характеристика установки, апарату. Добір матеріалів.	12.04.19	
5	Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарату. Розрахунок гідравлічного опору апарату	13.04.19	
6	Розробка складальних креслень апарату і його складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апарату	20.04.19	
7	Розрахунки на міцність.	15.05.19	
8	Уточнення графічної частини проекту та специфікацій	25.05.19	
9	Обґрунтування економічної доцільності модернізації	29.05.19	
10	Розробка вимог до апарату з питань охорони праці	30.05.19	

1	2	3	4
11	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань	03.06.19	
12	Попередній захист проекту	10.06.19	
13	Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту	10.06.19	

Студент

_____ В. В. Гавриленко
(підпис)

Керівник дипломного проекту

_____ Р. В. Сачок
(підпис)

РЕФЕРАТ

УДК 628.5.66.002.08

Модернізація теплообмінника установки виробництва метанолу:
Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»/ КПІ ім. Ігоря
Сікорського; Керівник Р. В. Сачок – К., 2019. –118 с.: Викон. –В. В. Гавриленко
– Бібліогр.: 92 с.

Пояснювальна записка складається із вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань із 26 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 95 с. основного тексту, 18 рисунків, 8 таблиць і 4 додатків.

Метою проекту є модернізація кожухотрубного теплообмінника для охолодження дизельного палива установки АВТ, що дозволяє підвищити ефективність роботи теплообмінника за допомогою удосконалення конструкції шляхом заміни стандартних труб, на труби змінного діаметру зі спеціальними вставками.

Поставлена задача досягається аналітичним визначення основних розмірів апарата, виконанням параметричного, конструктивного, гідравлічного розрахунків та розрахунків на міцність основних вузлів та деталей конструкції, розробкою рекомендації до монтажу та експлуатації теплообмінника, здійсненням оцінки рівня стандартизації та уніфікації розробки, економічним обґрунтуванням модернізації апарата та оцінюванням його ефективності, проведенням аналізу відповідності апарату до вимог охорони праці. Виконано аналіз результатів та зроблено висновки. Наведено список використаної літератури.

Графічна частина дипломного проекту включає три креслення формату А1, одне креслення формату А2 та два креслення формату А3, що містить: технологічну схему установки АВТ, складальне креслення теплообмінника, креслення трубчатки, креслення корпусу, креслення розподільчої камери, креслення опори.

КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, ПЛАВАЮЧА ГОЛОВКА, ЗМІННИЙ ДІАМЕТР, ДИЗИЛЬНЕ ПАЛИВО.

РЕФЕРАТ

УДК 628.5.66.002.08

Модернизация кожухотрубного теплообменника для охлаждения дизельного топлива установки АВТ: Дипломный проект образовательного уровня «бакалавр» / КПИ им. Игоря Сикорского; Руководитель Р. В. Сачок - М., 2019. - 118 с.: Выполн. –В. В. Гавриленко - Библиогр.: 92 с.

Пояснительная записка состоит из введения, 8 глав, заключения, списка ссылок с 26 наименований. Общий объем работы составляет 95 с. основного текста, 18 рисунков, 8 таблиц и 4 приложений.

Целью проекта является модернизация кожухотрубного теплообменника для охлаждения дизельного топлива установки АВТ, что позволяет повысить эффективность работы теплообменника с помощью усовершенствования конструкции путем замены стандартных труб, на трубы переменного диаметра.

Поставленная задача достигается аналитическим определением основных размеров аппарата, выполнением параметрического, гидравлического расчетов и расчетов на прочность основных узлов и деталей конструкции, разработкой рекомендации к монтажу и эксплуатации теплообменника, осуществлением оценки уровня стандартизации и унификации разработки, экономическим обоснованием модернизации аппарата и оценкой его эффективности, проведением анализа соответствия аппарата с требованиями охраны труда. Выполнен анализ результатов и сделаны выводы. Приведен список использованной литературы.

Графическая часть дипломного проекта включает три чертежа формата А1, один чертеж формата А2 и два чертежа формата А3, содержащую: технологическую схему установки АВТ, сборочный чертеж теплообменника, чертеж трубчатки, чертеж корпуса, чертеж распределительной камеры, чертеж опоры.

КОЖУХОТРУБНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК, ПЛАВАЮЩАЯ ГОЛОВКА, ПЕРЕМЕННЫЙ ДИАМЕТР, ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО.

ABSTRACT

UDC 628.5.66.002.08

The Bachelor Diploma project on the theme: “Modernization of shell-and-tube heat exchanger for cooling diesel fuel of the AVT unit”. /National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”; Supervisor: R. Sachek - K., 2019. – 118 p.: Performer. –V. Havrylenko- Bibliography: 92 p.

The explanatory note consists of an introduction, 8 chapters, a conclusion, a list of references of 26 titles. The total amount of work is 95 pages. A main text: 18 figures, 8 tables and 4 addendums.

The objective of the study is the modernization the shell-and-tube heat exchanger for cooling diesel fuel of the AVT unit, which improves the efficiency of the heat exchanger by improving the design by replacing standard pipes with pipes of variable diameter.

This object is achieved by the analytical determination of the main dimensions of the unit, the parametric analysis, the constructive calculations, the hydraulic calculations and calculations of the strength of the basic units and parts of the design, the development of recommendations for mounting installation and operation of the plate heat exchanger, the implementation assessment of the level of standardization and harmonization of development, the modernization of the system and justification of the assessment of its effectiveness; the analysis of correspondence of the requirements of the labor protections was conducted; the basic safety apparatus operation was outlined. The analysis of the results and conclusions was done. A list of references is given

The graphic part of the Diploma project consists of three drawings of A1 format, one drawing of A2 format and two drawings of A3 format, containing: the technological scheme of the AVT installation, assembly drawing of the heat exchanger, the drawing of the tubular, the drawing of a case, the drawing of the distribution chamber, the drawing of the support.

**TUBE HEAT EXCHANGER, FLOATING HEAD, VARIABLE DIAMETER,
DIESEL FUEL.**

Зміст

Вступ.....	13
1 Призначення та область використання апарата	14
1.1 Опис технологічної схеми	14
1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі	15
2 Технічна характеристика	17
3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції теплообмінника	18
3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата	18
3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами.....	19
3.3 Патентний огляд конструкцій.....	20
3.4 Вибір матеріалів конструкцій і апаратів	25
4 Охорона праці.....	27
5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій... 32	
5.1 Параметричний розрахунок	32
5.2 Визначення розмірів штуцерів	40
5.3 Гідравлічний розрахунок	42
5.4 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки.....	45
5.5 Розрахунок еліптичного днища	47
5.6 Розрахунок фланцевого з'єднання	48
5.7 Розрахунок опор теплообмінника	58
5.9 Розрахунок теплової ізоляції	71
5.10 Розрахунок укріплення отворів	73

					ЛН51.065116.001 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Разроб.		Гавриленко			Модернізація кожухотрубного теплообмінника для охолодження дизельного палива установки АВТ	Літ.	Лист	Листів	
Перев.		Сачок Р.В.					10		
Н.Контр.									
Затв.									
						КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ІХФ, МАХНВ			

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарату на виробництві дизельного палива	76
7 Рівень стандартизації та уніфікації	78
8 Економічна частина проекту	79
8.1 Техніко – економічні показники.....	80
8.2 Розрахунки витрат на проведення проектно-конструкторських робіт по удосконаленню теплообмінника	82
Висновок.....	87
Выводы	89
Conclusion	91
Перелік посилань	93
Додаток А Документація до патентного дослідження	96
Додаток Б Комп’ютерний розрахунок елементів теплообмінника	102
Додаток В Патенти, які використані в патентному дослідженні	105
Додаток Г Публікації автора	111

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні позначення:

F – площа теплообміну, м^2 ;

H, h – висота, м;

C – прибавка до розрахункової товщини, м;

D, d – діаметри, м;

m – маса, кг;

G – витрата, кг/с;

Q – витрати теплоти, кг/с;

t – температура, К;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі з боку дизельного палива, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі зі сторони води, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$;

K – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$;

Критерії:

Nu – критерій Нуссельта;

Re – критерій Рейнольдса;

Pr – критерій Прандтля.

Вступ

У хімічній технології теплообмінні апарати застосовуються для нагрівання й охолодження речовин у різних агрегатних станах, випарювання рідин і конденсації пару, перегонки і сублімації, абсорбції й адсорбції, розплавлювання твердих тіл і кристалізації, відводу і підведення тепла при проведенні екзо- і ендотермічних реакцій та т. ін. Відповідно своєму призначенню теплообмінні апарати називають підігрівниками, холодильниками, випарниками, конденсаторами, дистиляторами, субліматорами та т. ін., але зачасту специфічність певних виробництв потребує поліпшення та удосконалення апаратів.

Метою роботи є проектування та модернізація кожухотрубного теплообмінника, який в даній технологічній схемі служить для охолодження дизельного палива за допомогою води. Технологічна вода поступає в міжтрубний простір, а речовина, що охолоджується, в трубний. Через специфічність теплового режиму необхідно спроектувати та модернізувати потрібний апарат, тому робота є актуальною.

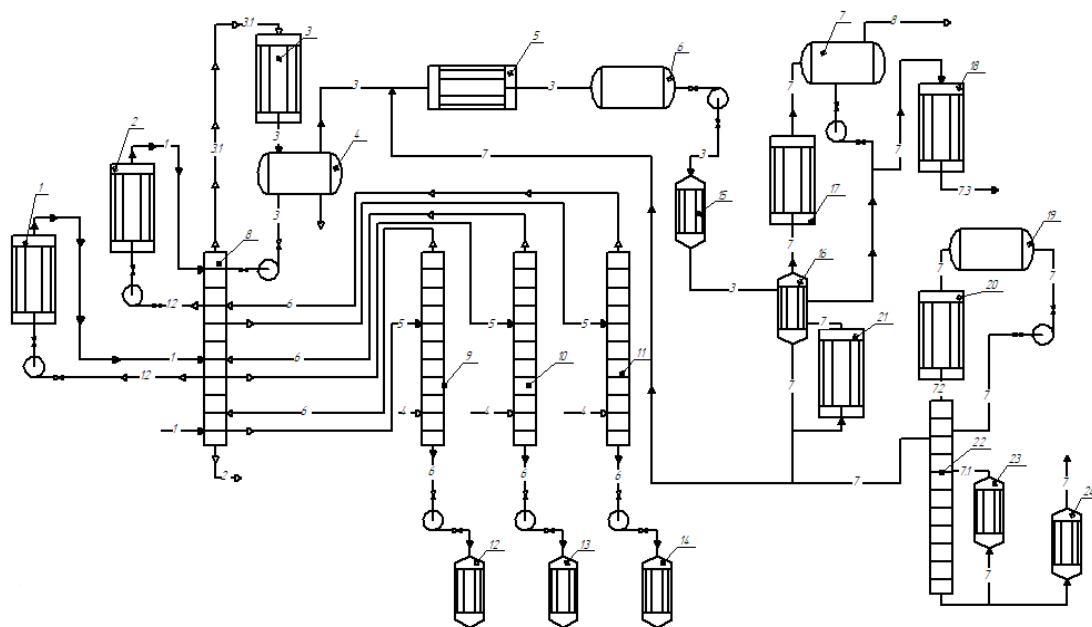
В роботі необхідно описати конструкцію теплообмінника та його основних складальних одиниць та деталей, вибрати матеріали для його виготовлення, порівняти основні показники розробленої конструкції з аналогами, провести патентні дослідження та навести заходи з охорони праці. Провести параметричний розрахунок теплообмінника та розрахунки на міцність основних деталей та вузлів конструкції. Надати рекомендації, щодо монтажу та експлуатації та визначити рівень стандартизації та уніфікації теплообмінника. Виконати техніко-економічне обґрунтування модернізації апарату. Виконати креслення технологічної схеми, складального креслення теплообмінника, корпусу теплообмінника, кришки, трубчатки, опори.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1 Призначення і область використання апарата

1.1 Опис технологічної схеми

Технологічна схема установки АВТ зображена на рисунку 1.1.



1, 2, 3, 5, 17, 18, 21 – конденсатори, холодильники ;
4,6,7,16 – збірники; 8–атмосферна колона; 9, 10, 11 – відпарні колони;
12, 13, 14, 15, 16, 23, 24 – кип’ятильники;16 –дебутанізатори; 22 – вакуумні колони;

Рисунок 1.1 – Схема установки АВТ.

Обезсолена нафта, після нагріву надходить на перегонку да атмосферної колони 8. З верху колони відводяться пари бензину , що конденсуються у дві стадії. На першій стадії забезпечується більш низький вміст газоподібних вугеводнів у складі зрошення, ніж у дистиляті. Несконденсовані газова та рідка фази бензину спільно доповнено охолоджуються та надходять у збірник 4 дебутанізатора 16. Частина стабілізованого бензину потрапляє у якості абсорбента, у потік бензину

після сепаратора 7. При цьому для повного розчинення газу витрати абсорбера складають 14% на завантаження дебутанізатора.

З атмосферної колони 8 через відпарні колони 9 одночасно відбирають три бокових погони: фракцію 140 – 250°C та два компоненти дизельного палива – фракцію 250 – 320°C та фракцію 320 – 380°C. Співвідношення компонентів дизельного палива підібрано так, щоб балансова суміш фракцій 250 – 320°C з 320 – 380°C, що пройшла гідроочистку при перегонці методом ASTM D86 википала до 360°C на 90 відсотків (по об'єму) та мала ві складі до одног вітсотка сірки. Залишком атмосферної колони є мазут. Знизу атмосферної колони 8 та відпарних колон 9 подається перегріта пара.

Фізична стабілізація бензину проводиться у дебутанізаторі 16. Відбір зрідженого газу становить 94,5% від потенціалу. Стабільний бензин містить 0,5% бутану та 0,0005% сірководню.

Вторинну перегонку у колоні 22 проходить приблизно 62% стабільного бензину, що пов'язано з обмеженою потребою у фракції 90 – 140°C, що відводиться з низу колони , зверху колони відбирають фракцію 90°C.

1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі

Метою даної роботи є розробка теплообмінника для охолодження дизельного палива у процесі роботи установки ЄЛОУ-АВТ. Дизельне паливо, що охолоджується, надходить в трубний простір, а вода поступає у міжтрубний простір. Для виконання поставленого завдання підійде горизонтальний кожухотрубний теплообмінний апарат. Виходячи з того, що різниця температур між теплоносіями перевищує 50 К, то необхідно врахувати температурні деформації,тому доцільним буде встановлення плаваючої головки. Такі апарати мають певні характеристики, які варто враховувати під час вибору теплообмінника. Наприклад: великий діапазон робочих температур, можливість роботи у агресивних

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

середовищах, легкість монтажу, надійність та безпечність роботи, простота проведення ремонтних робіт та обслуговування, а також довговічністю. Також, у кожухотрубних теплообмінниках при відносно невеликих об'ємах досягається досить велика площа поверхні теплообміну. Горизонтальний кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою повністю задовільняє поставленій задачі з охолодження дизельного палива у атмосферно-вакуумних колонах.

Область застосування: хімічна.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Технічна характеристика

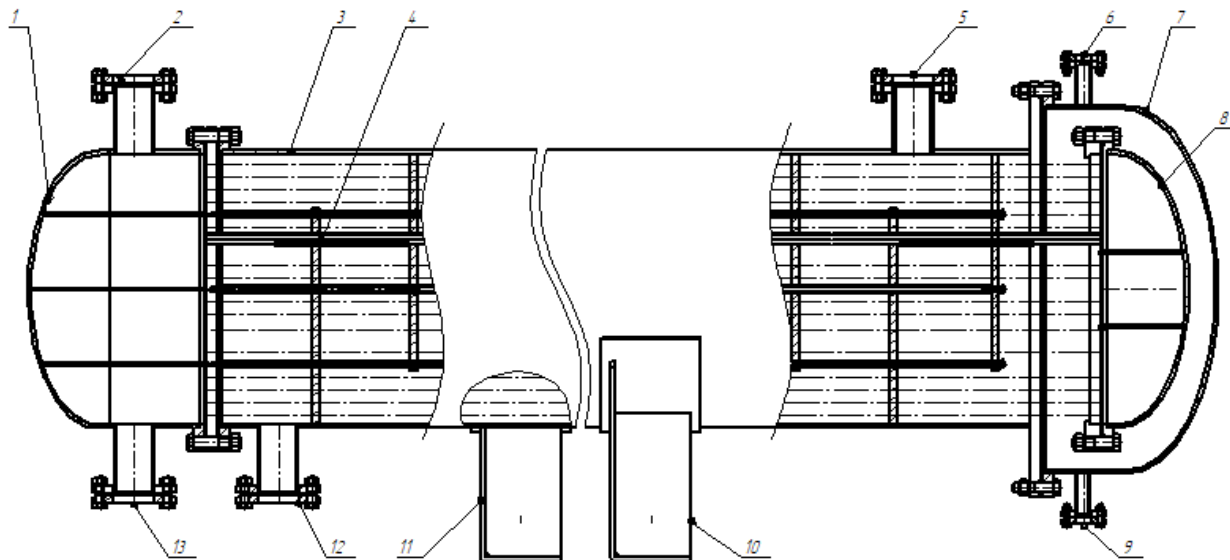
Тиск у трубному просторі, МПа	0,1;
тиск у міжтрубному просторі, МПа	0,1;
початкова температура дизельного палива, К	473;
кінцева температура дизельного палива, К	313;
початкова температура води, К	293;
кінцева температура води, К	363;
загальна поверхня теплообміну, м ²	91;
загальна кількість труб, шт	196;
діаметр апарата, м	0,6;
зовнішній діаметр труб, м	0,025;
внутрішній діаметр труб, м	0,021;
довжина труб апарата, м	6;
товщина стінки апарата, м	0,006;
довжина апарата, м	6,755;
ширина апарата, м	0,920;
висота апарата, м	1,130;
маса апарата, кг	1035.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції теплообмінника

3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата

Схема показана на рисунку 3.1.



- 1 – розподільна камера, 2 – штуцер для входу дизельного палива;
3 – корпус, 4 – труби, 5 – штуцер для виходу води,
6 – штуцер для виходу пари, 7 – кришка, 8 – плаваюча головка,
9 – дренажний штуцер, 10 – рухома опора, 11 – нерухома опора,
12 – штуцер для входу води, 13 – штуцер для виходу дизельного палива.

Рисунок 3.1 – Схема теплообмінного апарату

У трубний простір, через штуцер 2 подається дизельне палива з температурою 473 К і тиском 0,1 МПа, проходить через труби 4, та виходить через штуцер 13 з температурою 313 К. Через штуцер 12 в між трубний простір подається вода.

Обтікаючи трубний пучок вода вбирає в себе тепло, після чого відводиться через штуцер 5. Корпус виконано циліндричної форми, до якого приварений

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

трубний пучок. Для зменшення габаритів зроблені 6 ходів трубного простору за допомогою перегородок.

Для інтенсифікації процесу теплообміну встановлені труби 4 змінного діаметру з спеціальними вставками. Зміна діаметру труби турбулізує потік, а вставки дозволяють забезпечити це без зміни площі поперечного перерізу та втрати швидкості потоку у трубах.

3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами

Мета: порівняння конструкцій вже існуючих теплообмінників з розроблюваним апаратом.

При конструюванні та виборі теплообмінного апарата необхідно враховувати такі показники: високого коефіцієнта теплопередачі; мінімальний гідравлічний опір; компактність; мінімальні витрати матеріалів; надійність і герметичність; уніфікація вузлів і деталей, тощо.

Вертикальні теплообмінники з плоскими днищами мають широкий ряд номінальних об'ємів від 1 м^3 до 50 м^3 та можливість роботи з речовинами при атмосферному тиску.

Горизонтальні теплообмінники працюють з великими об'ємами (до 100 м^3) та умовними тисками до 1,6 МПа. У таких теплообмінниках можливо проводити теплообмін з вибухо- та пожежонебезпечними речовинами при температурах не більше 200°C . Недоліками таких конструкцій є висока собівартість, великі габаритні розміри.

Теплообмінник з нерухомими трубками має просту конструкцію. Витрати металу на виготовлення найменші. Але нерухомі трубки небезпечні при температурних деформаціях.

При встановленні труб U-подібної компенсуються температурні деформації.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

У апаратах такої конструкції лише одна трубна решітка, що значно спрощується і полегшується конструкцію апарата. Проте, вагомими недоліками є складність виготовлення трубчатки та подальше очищення внутрішньої поверхні труб .

Плаваюча головка дозволяє невілювати недоліки апарата з трубами U-подібної конструкції. Одна з трубних решіток апарата є рухомою, а це що дозволяє всьому пучку труб, незалежно від корпусу апарата, вільно переміщуватися. Таким чином компенсуються температурні деформації. Конструкцію такого типу легше збирати, обслуговувати та очищати.

Висновок: Порівняння теплообмінного апарату, що проектується з аналогами показало, що вибраний тип теплообмінника, відповідає заданим умовам та має переваги перед іншими варіантами конструкцій.

3.3 Патентний огляд конструкцій

Проведений патентний пошук для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти розробленої конструкції даного теплообмінника. Результати пошуку наведені в додатку А. Предметом патентного пошуку є теплообмінник. Для докладного аналізу було обрано патенти [1-5].

Аналіз патентів дозволяє зробити висновок, що в галузі теплообмінних апаратів значна кількість розробок спрямована на патентування різних конструкцій теплообмінників.

Винахід [1], який зображено на рисунку 3.2 складається з корпусу, у якому знаходиться трубний пучок з плаваючими перегородками. Труби мають хвилясту форму.

Переваги:

- 1) компактність;
- 2) інтенсивний теплообмін;
- 3) слійкість до температурних деформацій.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Недоліки:

- 1) низька продуктивність,
- 2) складність конструкції,
- 3) обмежена сфера застосування.

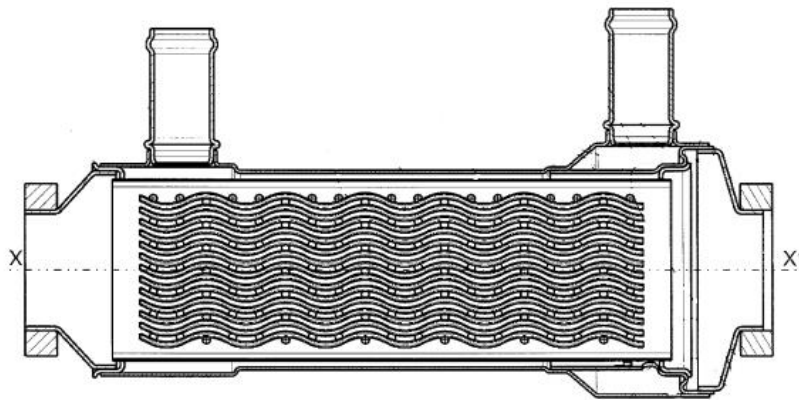


Рисунок 3.2 – Схема теплообмінного апарата

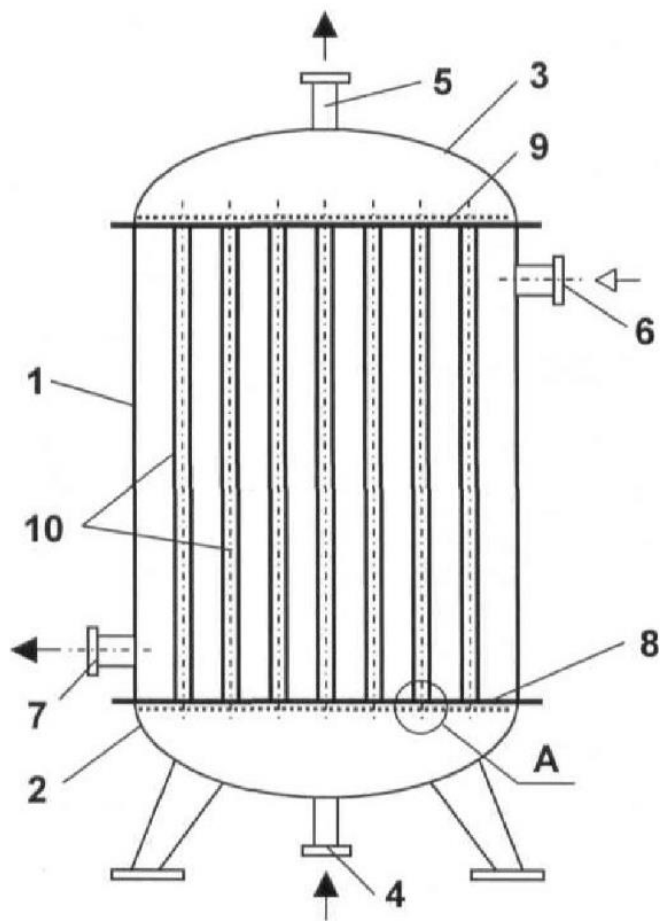
Теплообмінник [2], що зображений на рисунку 3.3, може бути використаний в хімічній, харчовій та споріднених з ними галузях промисловості. У трубах теплообмінника знаходяться насадкові тіла.

Переваги апарата:

- 1) покращена тепловіддача;
- 2) висока ефективність роботи.

Недоліки апарата:

- 1) складність обслуговування та монтажу;
- 2) висока собівартість.



1 – корпус; 2, 3 – кришки; 4, 5, 6, 7 – штуцери;

8, 9 – трубні решітки;

10 – теплообмінні труби;

Рисунок 3.3 – Схема теплообмінника

На рисунку 3.4 зображено вертикальний теплообмінник [3].

Апарат складається з декількох апаратів. Унікальність апарату заключається у тому, що він може працювати з сипучими речовинами.

Переваги:

- 1) покращена конструкція;
- 2) можливість роботи з сипучими речовинами;

Недоліки:

- 1) великі габарити;
- 2) швидкий знос внутрішньої частини апарата.

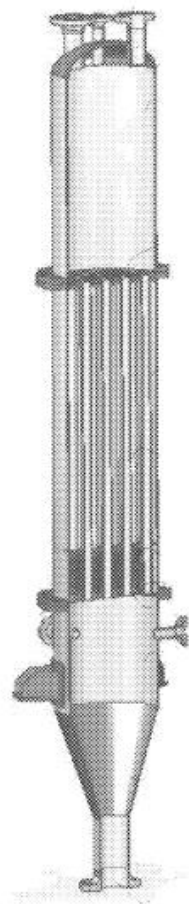


Рисунок 3.4 – Теплообмінний апарат

Кожухотрубний теплообмінник з безпечним каналом [4], зображений на рисунку 3.5. Можливе застосування в хімічній, нафтохімічній, газовій, харчовій і фармацевтичній промисловості та енергетиці.

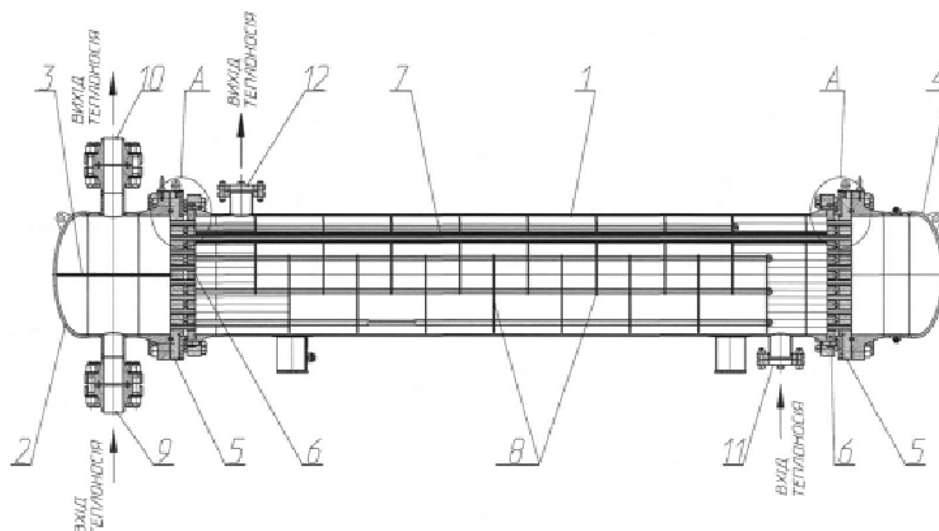
Переваги апарата:

- 1) запобігання потраплянню небезпечній речовини у навколишнє середовище
- 2) надійна конструкція

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Недоліки апарата:

- 1) складна конструкція;
- 2) велика металоємність;
- 3) доцільність застосування тільки у вузький галузі.



- 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – перегородка; 4- кришка;
5, 6 – трубна решітка; 7 – трубний пучок; 8 – сегментні перегородки;

Рисунок 3.5 – Теплообмінник з безпечним каналом

Теплообмінник, особливістю якого є труби розташовані по сторонах багатогранника [5]. Схему розташування труб зображено зображено на рисунку 3.6. Його можна застосовувати в хімічній, харчовій та споріднених з ними галузями промисловості.

Переваги апарата:

- 1) ефективне використання внутрішнього простору апарата;
- 2) збільшена площа теплообміну;
- 3) порівняно мала вартість.

Недоліки апарата:

- 1) не стандартна конструкція;
- 2) складність монтажу;
- 3) ненадійність конструкції;
- 4) складність виготовлення та уніфікації.

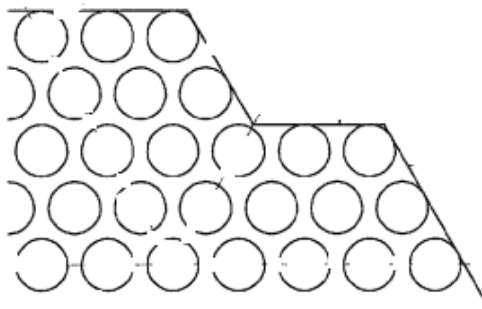


Рисунок 3.6 – Теплообмінник

Висновок: провівши патентний огляд зрозуміло, що вдосконалюють не тільки апарати в цілому, а й окремі вузли та деталі. Усі покращення спрямовані на збільшення ефективності та мають свої переваги та недоліки. Патентний огляд встановив, що розроблений кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою є патентно чистим, модернізованим та готовим до експлуатації.

3.4 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

Корпус теплообмінника, еліптичне днище, розподільна камера, штуцера, фланці, перегородки, опори виготовлені зі сталі 12X18H10T згідно з [6].

Сталь марки 12X18H10T відповідає технічним вимогам [7], працює в інтервалі температур від мінус -30 °C до 550 °C та тиску до 10 МПа[8].

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплообмінні труби виготовлені із сталі 12Х18Н10Т згідно [9] та [10]. Сталь марки 12Х18Н10Т має відповідати технічним вимогам [7]. Працює в інтервалі температур від мінус – 30 °С до 550 °С та тиску до 10 МПа.

Болти виготовлені із сталі 35Х відповідно до ГОСТ 7798-70, ISO 4014.

Гайки обрані згідно вимог ГОСТ 5915-70.

Шайби виготовлені відповідно з ГОСТ 6402-70.

Прокладки виготовляються з пароніту згідно до ГОСТ 28759.6-90 та ГОСТ 15180-86. Прокладка такого типу використовується при умовному тиску, який не перевищує 2,5 МПа.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Охорона праці

Зрозуміло, що під час роботи апарата виникають фактори, які мають шкідливий вплив на здоров'я та життя людини. Ці фактори мають відповідати санітарним нормам та правилам, які встановлені державним та галузевим стандартами.

Персоналу необхідно ознайомити з конструкцією та принципом роботи установки для забезпечення безпечної роботи. Для робочих регулярно проводиться інструктаж з техніки безпеки на підприємстві, протипожежної безпеки та ін. Також на робочих місцях встановлюють плакати з правилами поведінки у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Розрахунки та рекомендації обрані з [11].

Відповідно до теми дипломного проекту «Модернізація теплообмінника для охолодження дизельного палива установок АВТ» на стадії виробництва при роботі лінії розробляються заходи щодо забезпечення безпечних умов праці.

Установка встановлюється в цеху, обслуговується оператором, який працює у кабіні оператора. $S=100 \text{ м}^2$; $V=300 \text{ м}^3$.

Дизельне паливо пожежо- та вибухонебезпечна речовина.

Небезпечними виробничими факторами є:

- вибухо- та пожежна небезпека;
- виробничий шум;
- електронебезпечка
- промислове освітлення;

Згідно з СНІП 2.01.02-85 вогнестійкість будівлі відноситься до степені вогнестійкості II.

Керуючись ПУЕ, клас зони установки встановлено як П2.

Основними причинами загоряння можуть бути такі як:

використання вогню, знаходячись в неналежному для цього місці;

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

самозагоряння ізоляційних матеріалів в електропроводці;
несправне устаткування.

Основні міри, що запобігають до самозайманню:

- встановленні окремі ізольовані місця для паління, та забезпечений доступ персоналу до них;
- дотримуватись правил експлуатації устаткування та встановлених технологічних норм;
- періодичне та своєчасне проведення інструктажних лекцій з безпеки серед персоналу, що забезпечує функціонування устаткування;
- агітаційні дії щодо протипожежної безпеки;
- встановлення точок з засобами пожежегасіння, що розташовуються безпосередньо біля установки (пісок, ковдри, вогнегасники).

Для вдалого гасіння малих ділянок самозагоряння (за умови вимкненого електроустаткування) використовують вогнегасники на основі вуглецю ОУ-5 (3 шт.) згідно до того як прописано у ГОСТ 8050-85. Якщо є потреба у ліквідації загоряння при включених електромережах - необхідно використовувати порошкові вогнегасники ОП-10 (3 шт.), як зазначено у ГОСТ 30612-99.

В приміщенні у якому знаходиться установка встановлені протипожежні гідранти с рукавами завдовжки до 10 метрів, котрі встановлені на відстані 30 метрів один від одного. Також, важливим є те, що максимальна відстань до пожежного виходу менша за 40 метрів, у кількості не менше ніж два. Що є завширшки 2 метри, та з встановленими дверима, що відкриваються назовні.

Також наявне витяжне та фільтруюче устаткування, що забезпечує надійний захист навколишнього середовища, а ресурси що надходять для виробництва на підприємство розміщені у герметичних контейнерах.

На установці наявні такі джерела шуму:

- насосні апарати;
- двигуни з електричним живленням;

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

– шуми при виробництві.

Рівень тиску звуку (дБ) не перевищує октавних частот, а рівні звуку і еквівалентні їм рівні звуку (дБА) серед постійних робочих місць знаходяться у розрізі допустимих при запусненій та працюючій установці, що встановлені згідно з ДСН 3.3.6.037-99 (80 дБА) та приблизно знаходяться на рівні 70 дБА.

Встановлені захисні кожухи та екран що знаходяться на установці - знижують рівень звукового тиску на обслуговуючий персонал.

Для живлення установки використовується трифазна напруга 220/380 В з частотою 50 Гц. Нейтраль ізольована.

Причини ураження струмом обслуговуючого персоналу можуть бути такими:

- помилкове включення установки;
- старіння ізоляції і втрата нею ізоляційних властивостей;
- випадки дотику людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування;
- старіння ізоляції і втрата нею ізоляційних властивостей;
- дотик до частин установки, що можуть опинитися під напругою у випадку короткого замикання.
- пробій на корпус

Обов'язково нанести червоні незмивні знаки "Земля" біля затискачів заземлення за ГОСТ 21.1.030-75.

Ізоляція, а саме її електрична міцність - перевіряється на випробувальну напругу 200 В частотою 50 Гц протягом 1 хвилини.

Опір ізоляції має бути не менше 0,5 МОм.

Електрична апаратура, яка встановлена всередині приміщень, має ступінь захисту IP-54 ГОСТ 14254-80.

Ізоляція провідників вимірюється за допомогою мегаомметра 11044 ТУ 25-04-798-18.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Напруга вимірюється за допомогою вольтметра 351512 ТУ 25–04–1970–80.

Ступінь захисту електричної апаратури всередині приміщень контролюється за ГОСТ 14254–80 .

Захисне заземлення в аварійному режимі $R_{\text{заз}} = 3,8 \text{ Ом}$ за ГОСТ 12.1.030-82.

З метою запобігання травм приймаються такі заходи безпеки:

- рубильники вмикання установки знаходяться у спеціальній шафі;
- вузли установки, що можуть виявитися під напругою, мають зажими для приєднання заземлення.;
- сигнальні лампи індикації вмикання електроустаткування виведені на панель керування;
- дроти проведені в металевих рукавах ;
- передбачається спеціальне захисне вимикання електродвигунів у випадку враження людини струмом.

Важливою частиною для достатнього забезпечення виробничих процесів на підприємстві є забезпечення та виконання вказаних умов з освітлення.

Освітлення забезпечує підтримання в належному стані нервової системи персоналу, збереження якості зору та у значній мірі - безпеці на виробництві.

За санітарними нормами вказано, що від підприємства вимагається використання природного джерела освітлення, тому що воно є стабілізуючим фактором для роботи різних захисних функцій та роботи систем організму в цілому, а це у свою чергу забезпечує підвищення продуктивності та якості роботи працівників.

Тому в денний час приміщення повністю освітлюється за допомогою природного джерела освітлення. Також важливим є те, що робота щодо обслуговування устаткування відносять до загального спостереження у бік технологічного процесу.

Виходячи з цього, робоча зона для оператора з устаткування має освітлення $E_{\text{нор}} = 150 \text{ лк}$.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виробництво є безперервним, так як виробництво працює у три зміни.

Зроблений розрахунок освітлення придатний для темного часу доби, застосовуючи лише загальне освітлення люмінесцентними лампами (ЛДЦ-40), що мають потужність 40 Вт, та з світловим потоком $F = 2100$ лм та освітленістю $E_f = 100$ лк.

Отже рівномірне, загальне, освітлення поверхні що є горизонтальною при світильниках довільного типу розраховано за допомогою метода коефіцієнта використання світлового потоку.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій

5.1 Параметричний розрахунок теплообмінника

Мета розрахунку: визначення площі поверхні теплообміну, а також основних розмірів горизонтального теплообмінника для охолодження 6 кг/с дизельного палива.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.1.

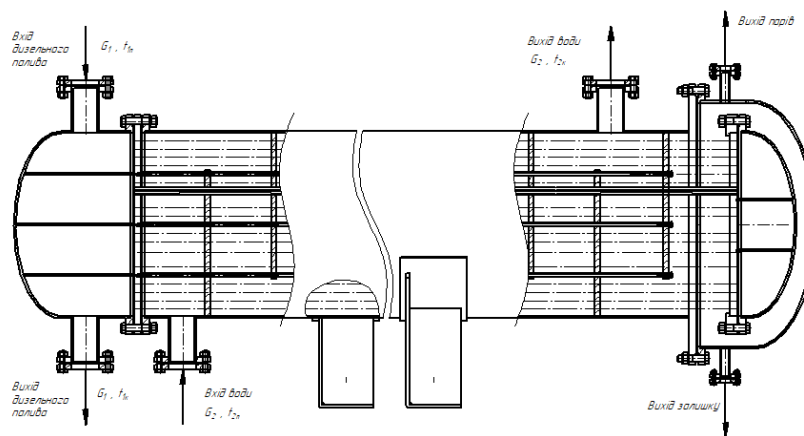


Рисунок 5.1– Розрахункова схема руху потоків у теплообміннику.

Вихідні дані:

Прийmemo для трубного простору індекс '1', а для міжтрубного простору індекс '2'.

Витрата дизельного палива G_1 , кг/с	6;
початкова температура дизельного $t_{1п}$, К	473;
кінцева температура дизельного палива $t_{1к}$, К	313;
початкова температура води $t_{2п}$, К	293;
кінцева температура води $t_{2к}$, К	363.

Розрахунок ведеться по [12].

Температурна схема:

$$t_{1п} = 473K \rightarrow t_{2к} = 313K;$$

$$t_{2п} = 293K \rightarrow t_{2к} = 363K.$$

$$473 \rightarrow 313$$

$$363 \leftarrow 293$$

Більша різниця температур:

$$\Delta t_{\text{б}} = t_{1п} - t_{2к} = 473 - 363 = 110K.$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{1к} - t_{2п} = 313 - 293 = 20K.$$

Оскільки $\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}} = 5,5 > 2$, то середню різницю температур визначаємо як середнєлогарифмічну різницю:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} = \frac{110 - 20}{\ln\left(\frac{110}{20}\right)} = 52,794.$$

Середня температура води:

$$t_{2\text{ср}} = \frac{t_{2п} + t_{2к}}{2} = \frac{363 + 293}{2} = 328K.$$

Середня температура дизельного палива:

$$t_{1\text{ср}} = t_{2\text{ср}} + \Delta t_{\text{ср}} = 328 + 52,794 = 380,794K.$$

Витрати теплоти на з урахуванням втрат:

$$Q = 1,05 \cdot G_1 c_1 (t_{1п} - t_{1к}) = 1,05 \cdot 6 \cdot 2050 \cdot (473 - 313) = 2066440 \text{ Вт},$$

де $c_1 = 2050 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ - питома теплоємність дизельного палива при $t_{1\text{ср}} = 380,794K$ [13].

Витрати води:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_2 = \frac{Q}{c_2(t_{2к} - t_{2п})} = \frac{2066440}{4190(363 - 293)} = 7,045 \text{ кг/с},$$

де $c_2 = 4174 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ - питома теплоємність води при $t_{2cp} = 328 \text{ K}$ [13].

Об'ємна витрата:

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{6}{800} = 0,0075 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{7,045}{983} = 7,167 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с},$$

де $\rho_1 = 800 \text{ кг/м}^3$ - густина дизельного палива при $t_{1cp} = 380,794 \text{ K}$ [13];

$\rho_2 = 983 \text{ кг/м}^3$ - густина води при $t_{2cp} = 328 \text{ K}$ [13].

Орієнтовно визначаємо максимальну величину площі теплообміну:

$$F_{\max} = \frac{Q}{K_{\min} \Delta t_{cp}} = \frac{2066440}{215 \cdot 52,794} = 182,051 \text{ м}^2,$$

де $K_{\min} = 215 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$ - мінімальне значення коефіцієнта теплопередачі [12].

Найкращі умови теплообміну відповідають турбулентному режиму руху теплоносія, коли критерій Рейнольдса:

$$Re' \geq 14000$$

Для забезпечення турбулентної течії в трубах швидкість повинна бути:

$$\omega'_1 = \frac{Re' \cdot \mu_1}{d_{1e} \cdot \rho_1} = \frac{14000 \cdot 0,82 \cdot 10^{-3}}{0,021 \cdot 800} = 0,683 \text{ м/с},$$

$\mu_1 = 0,82 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ - коефіцієнт динамічної в'язкості при $t_{1cp} = 380,794 \text{ K}$ [13];

$d_{1e} = 0,021 \text{ м}$ - внутрішній еквівалентний діаметр теплообмінної труби.

Кількість необхідних труб змінного перерізу на один хід, при $Re = 14000$ становить:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$n' = \frac{V_1}{0,785 \cdot d_{1e}^2 \cdot \omega'_1} = \frac{0,075}{0,785 \cdot 0,021^2 \cdot 0,683} = 32.$$

Попередньо обираємо для теплообміну шестиходовий апарат із внутрішнім діаметром кожуха $D = 600$ мм, довжиною труб $L=6$ м та загальною площею теплообміну 91 м^2 . (табл. 4.12) [12]. Кількість труб на один хід $n=32$.

Отже обираємо теплообмінник:

внутрішній діаметр D , мм	600;
число ходів z	6;
число труб на один хід, n	32;
довжина труб L , м	6;
поверхня теплообміну F , м^2	91;

Уточнюємо загальну кількість труб для обраного теплообмінника

$$n_{\text{заг}} = \frac{F}{\pi \cdot d_{2e} \cdot L} = \frac{91}{3,14 \cdot 0,021 \cdot 6} = 196$$

Уточнення поверхні теплообміну

Швидкість дизельного палива в трубному просторі:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{0,785 \cdot d_{1e} \cdot n} = \frac{0,075}{0,785 \cdot 0,021 \cdot 32} = 0,677 \text{ м/с},$$

Критерій Рейнольдса для дизельного палива:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{1e} \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{0,25 \cdot 0,021 \cdot 800}{0,82 \cdot 10^{-3}} = 13860.$$

Критерій Прандля для дизельного палива при $t_{1cp} = 380,794 \text{ К}$:

$$Pr_1 = \frac{c_1 \cdot \mu_1}{\lambda_1} = \frac{2087 \cdot 0,82 \cdot 10^{-3}}{0,107} = 9,789,$$

де $\lambda_1 = 0,107 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ - коефіцієнт теплопровідності дизельного палива при $t_{1cp} = 380,794 \text{ К}$ [13].

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Критерій Нуссельта трубного простору:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{ст1}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l = 0,021 \cdot 13860^{0,8} \cdot 9,789^{0,43} \cdot 0,9^{0,25} \cdot 1 = 112,28,$$

де $\frac{Pr_1}{Pr_{ст1}} = 0,9$ - приймаємо умовно спираючись на процес охолодження; коефіцієнт ε_l приймаємо 1.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до дизельного палива:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{1e}} = \frac{112,28 \cdot 0,107}{0,021} = 577,443 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Швидкість води в міжтрубному просторі:

$$\omega_2 = \frac{V_2}{S_2} = \frac{0,0072}{0,037} = 0,194 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для води:

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_2 \cdot \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,194 \cdot 0,025 \cdot 983}{0,309 \cdot 10^{-3}} = 9343.$$

Критерій Прандля для води:

$$Pr_2 = \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2} = \frac{4210 \cdot 3,086 \cdot 10^{-6}}{0,681} = 1,909$$

$\lambda_2 = 0,681 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ - коефіцієнт теплопровідності води при $t_{2cp} = 328 \text{ К}$ [13].

Критерій Нуссельта для міжтрубного простору:

$$Nu_2 = 0,4 \cdot \varepsilon_\phi \cdot Re_2^{0,6} \cdot Pr_2^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{ст2}} \right)^{0,25} = 0,4 \cdot 1 \cdot 9343^{0,6} \cdot 1,909^{0,36} \cdot 0,9^{0,25} = 71,146 ,$$

де $\frac{Pr_2}{Pr_{ст2}} = 0,9$ - приймаємо умовно за рахунок процесу охолодження; коефіцієнт ε_ϕ приймаємо 1.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_2} = \frac{71,46 \cdot 0,615}{0,025} = 1875 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Згідно з рекомендацією таблиця XXXI, ст. 531 [12], приймемо теплопровідність з боку бутану $r_{\text{забр1}}=1160 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, теплопровідність з боку бутилену $r_{\text{забр2}}=1400 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Сумарний термічний опір стінки і забруднень:

$$\frac{1}{\sum r_{\text{ст}}} = \frac{1}{\frac{1}{r_{\text{забр1}}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{r_{\text{забр2}}}} = \frac{1}{\frac{1}{1160} + \frac{0,002}{17} + \frac{1}{1400}} = 1694 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}},$$

де $\lambda_{\text{ст}}=17 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ - коефіцієнт теплопровідності нержавіючої сталі;

$\delta_{\text{ст}}$ - товщина стінки:

$$\delta_{\text{ст}} = \frac{d_1 - d_2}{2} = \frac{0,025 - 0,021}{2} = 0,002 \text{ м}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{577,443} + \frac{1}{1694} + \frac{1}{1875}} = 252,59 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}.$$

Поверхнева густина теплового потоку:

$$q = K \cdot \Delta t_{\text{cp}} = 259,298 \cdot 52,794 = 1334 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Знайдемо температуру стінок:

$$t_{1\text{ст}} = t_{1\text{cp}} + \frac{q}{\alpha_1} = 380,794 + \frac{1334}{577,443} = 386,073 \text{ К},$$

$$t_{2\text{ст}} = t_{2\text{cp}} - \frac{q}{\alpha_2} = 328 - \frac{1334}{1875} = 327,422 \text{ К}.$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Критерій Прандля для дизельного палива при температурі стінки

$$t_{1\text{ст}} = 386,073\text{К} :$$

$$Pr_{1\text{ст}} = \frac{c_{1\text{ст}} \cdot \mu_{1\text{ст}}}{\lambda_{1\text{ст}}} = \frac{2087 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{0,107} = 9,789 ,$$

де $\lambda_{1\text{ст}} = 0,107\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ - коефіцієнт теплопровідності[13];

$\mu_{1\text{ст}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$ - коефіцієнт динамічної в'язкості[13];

$c_{1\text{ст}} = 2087 \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ - питома теплоємність [13].

Перевіримо прийняте значення:

$$\left(\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)^{0,25} = \left(\frac{9,789}{22,697} \right)^{0,25} = 0,81$$

$$\text{Було прийнято } \left(\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)^{0,25} = 0,9.$$

$$\delta_1 = \frac{\left| \left(\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)_{\text{розр}}^{0,25} - \left(\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25} \right|}{\left(\frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25}} \cdot 100\% = \frac{|0,9 - 0,81|}{0,81} \cdot 100\% = 11,1\% \geq 5\%.$$

Різниця із прийнятим значенням складе 11,1% та не лежить у межах допустимої похибки, робимо уточнюючий перерахунок:

Критерій Нуссельта трубного простору при перерахунку $Pr_{1\text{ст}}$:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{\text{ст1}}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l = 0,021 \cdot 13860^{0,8} \cdot 9,789^{0,43} \cdot 0,81^{0,25} \cdot 1 = 93,42,$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до дизельного палива:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_{1\text{ст}}}{d_{1\text{е}}} = \frac{93,42 \cdot 0,107}{0,021} = 480,447 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Критерій Прандля для води при $t_{2\text{ст}} = 327,442\text{К}$

$$Pr_{2\text{ст}} = \frac{c_{2\text{ст}} \cdot \mu_{2\text{ст}}}{\lambda_{2\text{ст}}} = \frac{4210 \cdot 3,086 \cdot 10^{-6}}{0,681} = 1,909$$

де $\lambda_{2\text{ст}} = 0,681\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ - коефіцієнт теплопровідності[13];

$\mu_{2\text{ст}} = 3,086 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$ - коефіцієнт динамічної в'язкості[13];

$c_{2\text{ст}} = 4210\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ - питома теплоємність [13].

Перевіримо прийняте значення:

$$\left(\frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)^{0,25} = \left(\frac{1,911}{1,909} \right)^{0,25} = 1,0003$$

$$\text{Було прийнято } \left(\frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)^{0,25} = 0,9$$

$$\delta_2 = \frac{\left| \left(\frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)_{\text{розн}}^{0,25} - \left(\frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25} \right|}{\left(\frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25}} \cdot 100\% = \frac{|0,9 - 1,0003|}{1,0003} \cdot 100\% = 10,06\% \geq 5\%.$$

Різниця із прийнятим значенням складає 10,06% та не лежить у межах допустимої похибки, робимо уточнюючий перерахунок:

Критерій Нуссельта для міжтрубного простору при перерахунку $Pr_{2\text{ст}}$:

$$Nu_2 = 0,4 \cdot \varepsilon_\phi \cdot Re_2^{0,6} \cdot Pr_2^{0,36} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{\text{ст}2}} \right)^{0,25} = 0,4 \cdot 1 \cdot 9343^{0,6} \cdot 1,911^{0,36} \cdot 1,0003^{0,25} = 73,064 ,$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_2} = \frac{73,064 \cdot 0,681}{0,025} = 1926 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ct} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{480,447} + \frac{1}{1694} + \frac{1}{1926}} = 232,85 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Розрахункова площа поверхні теплообміну:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2066440}{232,85 \cdot 52,794} = 168,096 \text{ м}^2,$$

Приймаємо до установки 2 шестиходових кожухотрубних теплообмінників.

Визначимо запас площі теплообмінника:

$$100\% \cdot \frac{(F_p - F \cdot 2)}{F_p} = 100\% \cdot \frac{(168,096 - 91 \cdot 2)}{168,096} = 8,272\%$$

Вибраний теплообмінник задовольняє умовам проектування.

Висновок:

Для реалізації поставленої задачі охолодження дизельного палива із заданою продуктивністю приймаємо шестиходовий горизонтальний кожухотрубний теплообмінник, що має внутрішній діаметр кожуха $D = 600$ мм, еквівалентний діаметр труб $\varnothing 25 \times 2$ мм, довжину труб $L = 6$ м, загальною площею теплообміну 182 м^2 та загальну кількість трубок $n = 196$.

5.2 Розрахунок штуцерів

Розрахунок штуцерів:

Метою розрахунку є вибір стандартних штуцерів за тиском і діаметром умовного проходу. Розрахункова схема штуцера зображена на рисунку 5.2.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

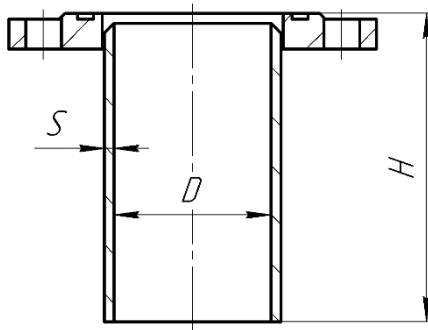


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема штуцера

Вихідні дані:

густина дизельного палива ρ_1 , кг/м³ [13] 800;

густина води ρ_2 , кг/м³ [13] 983;

масова витрата дизельного палива G_1 , кг/с 6;

масова витрата води G_2 , кг/с 7,045.

Методику розрахунку ведемо згідно [14].

Діаметр штуцера для входу і виходу дизельного палива:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_1 \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6}{3,14 \cdot 800 \cdot 1,5}} = 0,08 \text{ м.}$$

де ω - рекомендована швидкість для рідин, $\omega = 1,5 \text{ м/с}$;[15]

Тоді дійсна швидкість руху в штуцерах:

$$\omega_1 = \frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot d_1^2 \cdot \rho_1} = \frac{4 \cdot 6}{3,14 \cdot 0,08^2 \cdot 800} = 1,5 \text{ м/с.}$$

Діаметр штуцера для входу і виходу води:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \rho_2 \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,045}{3,14 \cdot 983 \cdot 1,5}} = 0,078 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість руху в штуцерах:

$$\omega_2 = \frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot d_2^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot 7,045}{3,14 \cdot 0,078^2 \cdot 983} = 1,426 \text{ м/с.}$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Розміри нормалізованих штуцерів за [7]:

1) 4 штуцери 80 – 0,6 – 1 – 5 – 150 – 12X18Н10Т – АТК 24.218.06-90 для входу і виходу води та дизельного палива, що має наступні параметри:

Номінальний діаметр D_y , м 0,080;

Діаметр отвору d_t , м 0,089;

Товщина стінки S_t , м 0,005;

Висота штуцера H_t , м 0,155;

2) 2 штуцери 80 – 0,6 – 1 – 5 – 150 – 12X18Н10Т – АТК 24.218.06-90 для виходу залишку води та парів, що має наступні параметри:

Номінальний діаметр D_y , м 0,025;

Діаметр отвору d_t , м 0,032;

Товщина стінки S_t , м 0,0035;

Висота штуцера H_t , м 0,155.

Висновок: було розраховано та прийнято стандартні розміри штуцерів для входу і виходу дизельного палива та води, для виходу залишку води і парів, та дійсні швидкості руху в штуцерах.

5.3 Гідравлічний розрахунок

Метою гідравлічного розрахунку є визначення гідравлічного опору в трубному та міжтрубному просторах теплообмінника

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.3

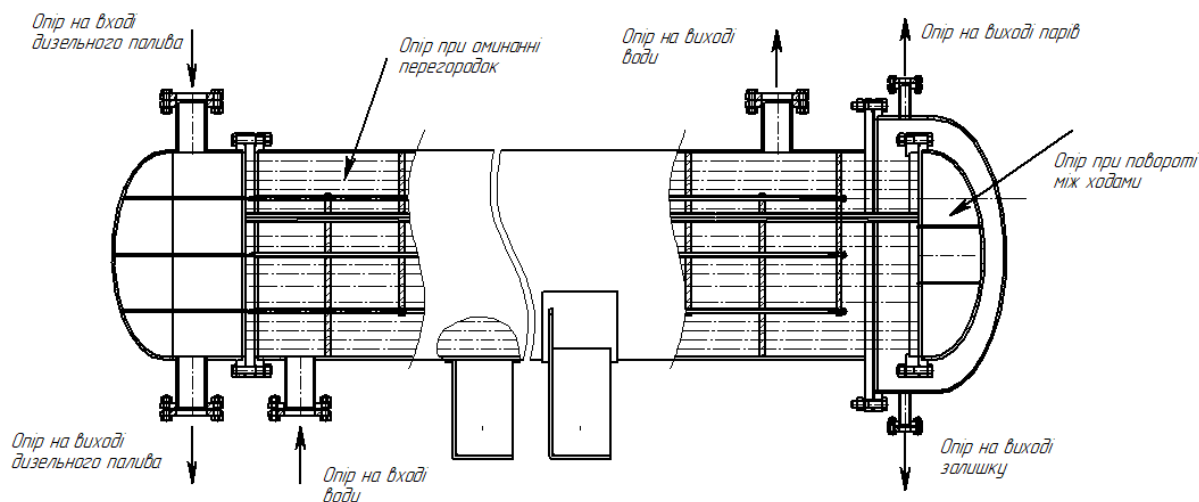


Рисунок 5.3 – Розрахункова схема гідралічного опору теплообмінника

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр трубки $d_{\text{вн}}$, м 0,01;

довжина труб L , м 6.

Розрахунок здійснюємо за методикою [14].

Розрахунок гідралічного опору в трубному просторі:

Відносна шорсткість труб:

$$e = \frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} = \frac{0,2}{0,021} = 0,0095,$$

де Δ - висота виступів шорсткостей, $\Delta = 0,2$ мм.

При значенні $Re > 2300$ коефіцієнт тертя визначається:

$$\lambda_1 = 0,25 \cdot \left(\lg \left(\frac{e}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re_1} \right)^{0,9} \right) \right)^{-2} = 0,25 \cdot \left(\lg \left(\frac{0,008}{3,7} + \left(\frac{6,81}{13860} \right)^{0,9} \right) \right)^{-2} = 0,04,$$

Гідралічний опір трубного простору:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$\Delta P_{\text{тр}} = \left[\lambda_1 \cdot \frac{L \cdot z}{d_1} + 2 \cdot z \cdot \varepsilon_3 + (z-1) \cdot \varepsilon_1 \right] \cdot \frac{\rho_{\text{тр}} \cdot \omega_{\text{тр}}^2}{2} + 2 \cdot \varepsilon_2 \cdot \frac{\rho_{\text{тр}} \cdot \omega_{1\text{шт}}^2}{2} =$$

$$= \left[0,04 \cdot \frac{6 \cdot 6}{0,021} + 2 \cdot 6 \cdot 1 + (6-1) \cdot 2,5 \right] \cdot \frac{800 \cdot 0,25^2}{2} + 2 \cdot 1,5 \cdot \frac{800 \cdot 1,5^2}{2}$$

$$= 20370 \text{ Па.}$$

де z – кількість ходів по трубах.

ε_1 - місцеві втрати при повороті між ходами, $\varepsilon_1 = 2,5$ [14];

ε_2 - вхідна і вихідна камера, $\varepsilon_2 = 1,5$ [14];

ε_3 - вхід і вихід з трубного простору, $\varepsilon_3 = 1,0$ [14].

Витрати потужності:

$$N_1 = \frac{\Delta P_{\text{тр}} \cdot G_1}{\rho_1} = \frac{20370 \cdot 6}{800} = 152,747 \text{ Вт}$$

Кількість рядів труб:

$$m = \sqrt{\frac{n}{2}} = \sqrt{\frac{196}{2}} = 9,899 \approx 10.$$

Гідрравлічний опір міжтрубного простору:

$$\Delta P_{\text{міжтр}} = \left[\frac{3m(x+1)}{Re_2^{0,2}} \cdot (x+1) + x \cdot \varepsilon_4 \right] \cdot \frac{\rho_{\text{мтр}} \cdot \omega_{\text{мтр}}^2}{2} + (\varepsilon_5 + \varepsilon_6) \cdot \frac{\rho_{\text{мтр}} \cdot \omega_{2\text{шт}}^2}{2} =$$

$$= \left[\frac{3 \cdot 10 \cdot (20+1)}{9343^{0,2}} + 20 \cdot 1,5 \right] \cdot \frac{983 \cdot 0,194^2}{2} + (1,5 + 1) \cdot \frac{983 \cdot 1,426^2}{2} = 4823 \text{ Па,}$$

де x – кількість перегородок ;

ε_4 - місцеві втрати при повороті через перегородку, $\varepsilon_4 = 1,5$ [14];

ε_5 - місцеві втрати на вхід в міжтрубний простір, $\varepsilon_5 = 1,5$ [14];

ε_6 - місцеві втрати на вихід з між трубного простору, $\varepsilon_6 = 1,0$ [14].

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Витрати потужності:

$$N_2 = \frac{\Delta P_{\text{міжтр}} \cdot G_2}{\rho_2} = \frac{4823 \cdot 7,045}{983} = 34,566 \text{ Вт}$$

Висновок: визначено гідравлічний опір трубного й міжтрубного просторів теплообмінника $\Delta P_{\text{тр}} = 20370 \text{ Па}$ і $\Delta P_{\text{міжтр}} = 4823 \text{ Па}$. Витрати потужності дорівнюють: для трубного простоту 152,747 Вт, а для між трубного 34,566 Вт.

5.4 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки

Метою даного розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки і перевірка її на міцність.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.4.

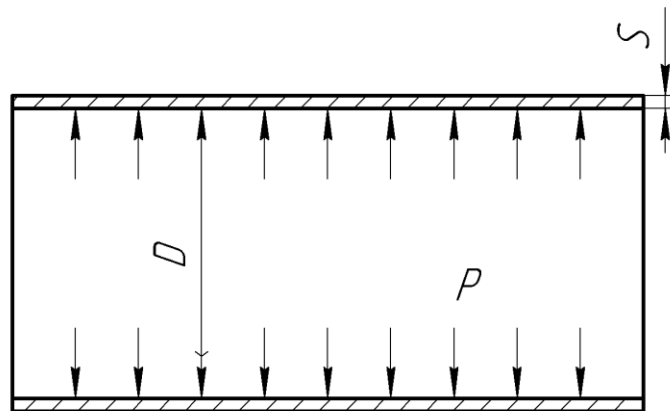


Рисунок 5.4 – Схема товщини стінки обичайки

Вхідні дані:

тиск всередині апарата P , МПа	0,1;
внутрішній діаметр апарата D , м	0,6;
допустиме напруження для матеріалу обичайки (сталь 12X18H10T) $[\sigma]$, МПа	155.

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [15].

Розрахунок передбачає визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію і зручності транспортування та монтажу.

Номінальна товщина стінки циліндричної обичайки :

$$S_R = \frac{D \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{\text{ш}} - P} = \frac{0,6 \cdot 0,1}{2 \cdot 140 \cdot 0,9 - 0,1} = 5 \text{ мм.}$$

де $\varphi_{\text{ш}}$ - коефіцієнт міцності зварних швів, $\varphi_{\text{ш}} = 0,9$ [16].

Виконавча товщина стінки обичайки:

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 5 + 0,5 + 0,5 + 0 = 6 \text{ мм,}$$

де C_1 – прибавка на компенсацію корозії та ерозії .

$$C_1 = v \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мм,}$$

де v - швидкість корозії, $v = 0,05$ мм/рік;

τ - строк служби, $\tau = 10$ років;

C_2 – прибавка на компенсацію мінусового допуску до товщини листа, $C_2 = 0,5$ мм;

C_3 – технологічна прибавка, яка дорівнює, $C_3 = 0$ мм.

Приймаємо $S_R = 5$ мм, рекомендовану за [12] з метою забезпечення міцності обичайки.

Допустимий тиск в обичайці:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{\text{ш}} \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,9 \cdot (6 - 1) \cdot 10^{-3}}{0,6 + (6 - 1) \cdot 10^{-3}} = 2,083 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P \leq [P],$$

$$0,1 \text{ МПа} \leq 2,083 \text{ МПа.}$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Висновок: Через те, що умови застосування формул виконуються, а допустимий внутрішній надлишковий тиск більший за розрахунковий, то приймаємо товщину стінки $S = 6\text{мм}$.

5.5 Розрахунок еліптичного днища під дією внутрішнього надлишкового тиску

Метою даного розрахунку є визначення товщини кришки та перевірка виконання умови міцності.

Схема до розрахунку еліптичної кришки приведена на рисунку 5.5.

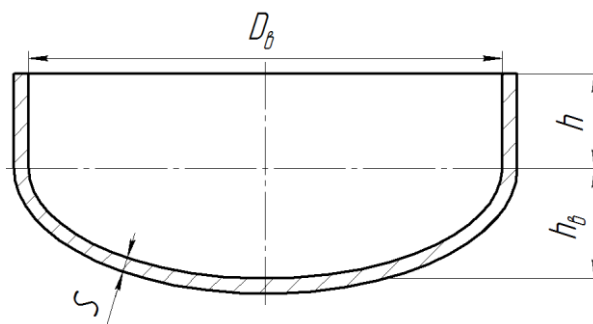


Рисунок 5.5 - Схема до розрахунку еліптичної кришки

Вхідні дані:

тиск всередині апарата P , МПа	0,1;
внутрішній діаметр апарата D_b , м	0,6;
допустиме напруження для матеріалу обичайки (сталь 12X18H10T) $[\sigma]$, МПа	155.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [15].

В даному розрахунку необхідно визначити товщину днища та перевірити, чи виконується умова міцності.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Розрахункова товщина за внутрішнього надлишкового тиску:

Розрахункова товщина за внутрішнього надлишкового тиску:

$$S_R = \frac{D \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{\text{ш}} - P} = 5 \text{ мм.} \quad (5.1)$$

де $\varphi_{\text{ш}}$ – коефіцієнт міцності зварного шва, $\varphi_{\text{ш}} = 0,9$ [16].

Із врахуванням поправок маємо:

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 6 \text{ мм} \quad (5.2)$$

Товщину днища необхідно приймати не менше товщини корпусу і згідно рекомендаціям стандартів не менше 6 мм. Приймаємо 6 мм. Обчислюємо висоту еліптичної частини днища та радіус:

$$H = 0,25 \cdot D = 0,15 \text{ м} \quad (5.3)$$

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 0,6 \text{ м} \quad (5.4)$$

В зв'язку з тим, що ми обрали еліптичне днище, його обов'язково необхідно виконувати з відбортовкою. Усі параметри днища вибираються згідно стандартів.

Виконуємо перевірку на допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot (S - C) \cdot [\sigma] \cdot \varphi}{R + 0,5 \cdot (S - C)} = 2,083 \text{ МПа} \quad (5.5)$$

Розрахунок проведений в середовищі MathCad(Додаток Б).

$$P = 0,1 \text{ МПа} \leq [P] = 2,083 \text{ МПа}$$

Висновок: Значення робочого тиску $P = 0,1 \text{ МПа}$ не перевищує значення допустимого тиску $[P] = 2,083 \text{ МПа}$. Умова міцності виконується, отже розрахована виконавча товщина стінки еліптичного днища $S = 6 \text{ мм}$.

5.6 Розрахунок фланцевих з'єднань

Метою розрахунку є вибір та перевірочний розрахунок фланців для забезпечення з'єднання корпусу апарата з розподільною камерою, а також герметичність з'єднання.

Схема фланцевого з'єднання наведена на рисунок 5.6.

Розрахунок проводимо згідно методики наведеної в [17], складена згідно норм за ОСТ 26-373-78 і передбачає визначення навантажень на кріпильні деталі, обчислення напружень у кріпильних деталях і порівняння їх з допустимими, знаходження напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців та порівняння їх з допустимими та перевірку фланців на жорсткість за умовою герметичності.

Вибір стандартних фланців здійснюємо згідно із [17].

Попередній геометричний розрахунок:

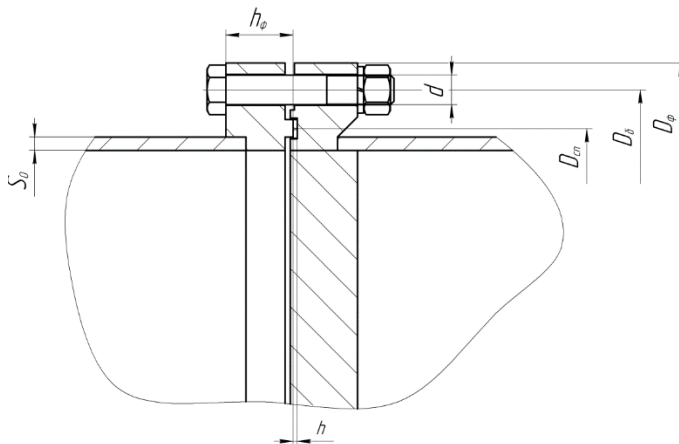


Рисунок 5.6 – Схема фланцевого з'єднання

Вихідні дані:

Геометричні параметри фланця:

внутрішній діаметр, D , м	0,6;
діаметр фланця, D_{ϕ} , м	0,72;
діаметр болтового кола, $D_{\text{Б}}$, м	0,68;

товщина фланця, $h_{\phi 1}$, м	0,025;
товщина фланця, $h_{\phi 2}$, м	0,025;
параметри прокладки	
зовнішній діаметр прокладки, $D_{\text{п}}$, м	0,64;
ширина прокладки, b , м	0,013;
товщина прокладки, h , м	0,002;
матеріал прокладки	Пароніт ГОСТ 28759-90;
допустиме питоме навантаження, q , МПа	130;
коефіцієнт, m	3;
модуль пружності матеріалу прокладки, $E_{\text{пр}}^t$, МПа	200;
матеріал фланців	12X18H10T;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\phi}^{20}$, МПа	160;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\phi}^{60}$, МПа	155;
модуль пружності, E_{ϕ}^t , МПа	$1,97 \cdot 10^5$;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, α_{ϕ}^t , K^{-1}	$16,6 \cdot 10^{-6}$;
внутрішній тиск, $P_{\text{тр}}$, МПа	0,1;
кількість болтів, $z_{\text{Б}}$	20;
діаметр різьби шпильок, $d_{\text{Б}}$, м	0,02037;
внутрішній діаметр, $d_{0\text{Б}}$, м	0,022;
матеріал болтів	сталь 35X ГОСТ 28759-90;
мінімальне питоме навантаження, $q_{\text{Б}}$, МПа	20;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{Б}}^{20}$, МПа	230;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{Б}}^{60}$, МПа	227;
модуль пружності, $E_{\text{Б}}^t$, МПа	$1,97 \cdot 10^5$;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, $\alpha_{\text{Б}}^t$, K^{-1}	$16,6 \cdot 10^{-6}$.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

,0+

Для перевірного розрахунку фланцевих з'єднань скористаємось алгоритмом запропонованим авторами [17], згідно з яким проводяться розрахунок наступних величин:

Розрахунок допоміжних величин:

Відношення більшої товщини втулки до меншої:

$$\beta = \frac{S_1}{S_0} = \frac{0,012}{0,012} = 1,$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - b = 0,64 - 0,013 = 0,627 \text{ м},$$

де $D_{\text{п}}$ - зовнішній діаметр прокладки, м;

b - ширина прокладки, м.

Оскільки $b \leq 0,013 \text{ м}$, то ефективна ширина прокладки:

$$b_{\text{Е}} = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 0,013 = 0,007 \text{ м}.$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K_{\text{ф}} = \frac{D_{\text{ф}}}{D} = \frac{0,72}{0,6} = 1,2,$$

де $D_{\text{ф}}$ - зовнішній діаметр фланця;

D - умовний внутрішній діаметр фланця.

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\text{ф1}} = \frac{h_{\text{ф1}}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,025}{\sqrt{0,6 \cdot 0,006}} = 0,667,$$

$$\lambda_{\text{ф2}} = \frac{h_{\text{ф2}}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,025}{\sqrt{0,6 \cdot 0,006}} = 0,667,$$

де $h_{\text{ф1}}$, $h_{\text{ф2}}$ - товщини фланців, м;

S_0 – товщина стінки апарата, $S_0 = 0,006 \text{ м}$.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Поправкові коефіцієнти для фланців:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg K_{\phi} = 1,28 \cdot \lg 1,2 = 0,101,$$

$$\Psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} = \frac{1,2 + 1}{1,2 - 1} = 11,$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{S_0} = \frac{0,025}{0,006} = 6,667,$$

$$j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{S_0} = \frac{0,025}{0,06} = 6,667.$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \frac{1,2^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,2) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,2^2)(1,2 - 1)} = 1,837,$$

$$\omega_{\phi 1} = \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2)\right)^{-1} = (1 + 0,9 \cdot 0,667 \cdot (1 + 0,101 \cdot 6,667^2))^{-1} = 0,232,$$

$$\omega_{\phi 2} = \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2)\right)^{-1} = (1 + 0,9 \cdot 0,667 \cdot (1 + 0,101 \cdot 6,667^2))^{-1} = 0,232$$

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\phi 1} = \frac{(1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})) \cdot \Psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}} = \frac{(1 - 0,232 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,667)) \cdot 11}{0,025^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,54 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}},$$

$$y_{\phi 2} = \frac{(1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})) \cdot \Psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 1}} = \frac{(1 - 0,232 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,667)) \cdot 11}{0,025^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,54 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}},$$

де $E_{\phi 1}$ і $E_{\phi 2}$ - модуль поздовжньої пружності матеріалу фланців, Па.

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання :

$$L_{\text{Б}} = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_{\text{Б}} = 0,025 + 0,025 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,022 = 0,058 \text{ м},$$

де h - товщина прокладки, м;

$d_{\text{Б}}$ - зовнішній діаметр різьби болтів, м.

Лінійна піддатливість прокладки:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$y_{\pi} = \frac{h}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b \cdot E_{\pi}} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 0,627 \cdot 0,013 \cdot 2000} = 3,907 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}}{\text{МН}},$$

де E_{π} - модуль повздовжньої пружності матеріалу прокладки, Па.

Площа поперечного перерізу болта:

$$f_{\text{Б}} = 0,785 \cdot d_0^2 = 0,785 \cdot 0,02037^2 = 3,257 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

де d_0 – внутрішній діаметр різьби болтів, м.

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_{\text{Б}} = \frac{L_{\text{Б}}}{E_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot z_{\text{Б}}} = \frac{0,058}{2 \cdot 10^5 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4} \cdot 20} = 6,766 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}}{\text{МН}},$$

де $E_{\text{Б}}$ - модуль поздовжньої пружності матеріалу болтів, Па.

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\text{ф}} = \left(y_{\pi} + y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot (y_{\text{ф1}} + y_{\text{ф2}}) \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}})^2 \right)^{-1} =$$

$$= (3,907 \cdot 10^{-5} + 4,464 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,54 + 0,54) \cdot (0,68 - 0,627)^2)^{-1} = 1156 \frac{\text{МН}}{\text{М}}.$$

Параметр жорсткості фланців :

$$B_{\text{ф1}} = y_{\text{ф1}} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_0) = 0,54 \cdot (0,68 - 0,6 - 0,01) = 0,04 \frac{1}{\text{МН}},$$

$$B_{\text{ф2}} = y_{\text{ф2}} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_0) = 0,54 \cdot (0,68 - 0,6 - 0,01) = 0,04 \frac{1}{\text{МН}}.$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\text{ф}} \cdot y_{\text{Б}} = 1156 \cdot 4,464 \cdot 10^{-5} = 0,078.$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\text{ф}} = A_{\text{ф}} \cdot \left(y_{\text{Б}} + 0,25 (B_{\text{ф1}} + B_{\text{ф2}}) (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}}) \right) =$$

$$= 1156 \cdot (4,464 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,04 + 0,04) \cdot (0,68 - 0,627)) = 1,302.$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_{\text{г}} = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 0,627^2 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ МН},$$

де p - внутрішній надлишковий тиск в апараті.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Реакція прокладки в робочих умовах:

$$R_n = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot m \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,627 \cdot 0,007 \cdot 2,5 \cdot 0,1 = 0,0068 \text{ МН}.$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$Q_{\text{тф}} = \gamma \cdot z_B \cdot f_B \cdot E_B (\alpha_{\text{ф}}^t \cdot t_{\text{ф}} - \alpha_B^t \cdot t_B) =$$

$$= 0,045 \cdot 20 \cdot 2,346 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 200 - 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 200) = 0 \text{ Н},$$

де $\alpha_{\text{ф}}^t$ і α_B^t - коефіцієнти відносного лінійного розширення відповідно матеріалу фланця і болтів, 1/К;

$t_{\text{ф}}$ і t_B - температури відповідно фланця і болтів, К.

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку:

$$P'_{\text{Б1}} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 0,627 \cdot 0,007 \cdot 20 = 0,27 \text{ МН};$$

$$P''_{\text{Б1}} = \alpha_{\text{ф}} \cdot (Q_g + P) + R_{\text{п}} = 1,302 \cdot (0,03 + 0,1) + 0,0068 = 0,176 \text{ МН};$$

$$P'''_{\text{Б1}} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 220 \cdot 20 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4} = 0,573 \text{ МН},$$

де q - мінімальний тиск на прокладку, який забезпечує герметичність з'єднання,
 $q = 20 \text{ МПа};$

$[\sigma_B]^{20}$ - границя міцності матеріалу болтів при температурі 20°C ,

$[\sigma_B]^{20} = 230 \text{ МПа}.$

Розрахункове навантаження на болти:

Оскільки $p < 0,6 \text{ МПа}$, то

$$P_{\text{Б1}} = \max(P'_{\text{Б1}}; P''_{\text{Б1}}; P'''_{\text{Б1}}) = \max(0,27; 0,176; 0,573) = 0,573 \text{ МН}.$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{\text{Б1}}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b} \leq [q].$$

$$\frac{0,573}{3,14 \cdot 0,627 \cdot 0,013} = 22,387 \leq 130,$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

де $[q]$ - допустиме питоме навантаження зминання прокладки, $[q] = 130 \text{ МПа}$.

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов:

$$\begin{aligned} P_{Б2} &= P_{Б1} + (1 - \alpha_{\Phi}) \cdot (Q_g + P) + Q_{т\Phi} = \\ &= 0,573 + (1 - 1,302) \cdot (0,03 + 0,1) + 0 = 0,534 \text{ МН} \end{aligned}$$

Розрахункове навантаження на болти :

$$P_{Б\Phi} = \max(P_{Б1}; P_{Б2}) = \max(0,573; 0,534) = 0,573 \text{ МН}.$$

Напруження розтягання в болтах за умов монтажу :

$$\sigma_{Б}^{20} = \frac{P_{Б1}}{z_{Б} \cdot f_{Б}} = \frac{0,573}{20 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4}} = 88 \text{ МПа}.$$

Напруження розтягання в болтах за робочих умов :

$$\sigma_{Б}^t = \frac{P_{Б2}}{z_{Б} \cdot f_{Б}} = \frac{0,534}{20 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4}} = 81,98 \text{ МПа}.$$

Крутний момент, що виникає від розтягування гайок :

$$M_{скр} = f_1 \cdot \frac{P_{Б\Phi}}{z_{Б}} \cdot d_{Б} = 0,1 \cdot \frac{0,573}{20} \cdot 0,022 = 6,306 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м},$$

де f_1 - коефіцієнт тертя, $f_1 = 0,1$.

Дотичне напруження в болтах :

$$\tau_{Б} = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_0^3} = \frac{6,306 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,02037^3} = 37,304 \text{ МПа}.$$

Еквівалентні напруження в болтах :

$$\sigma_{БЕ}^{20} = \sqrt{(\sigma_{Б}^{20})^2 + 3 \cdot \tau_{Б}^2} = \sqrt{88^2 + 3 \cdot 37,304^2} = 109,173 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{БЕ}^t = \sqrt{(\sigma_{Б}^t)^2 + 3 \cdot \tau_{Б}^2} = \sqrt{81,98^2 + 3 \cdot 37,304^2} = 104,381 \text{ МПа}.$$

Умови міцності болтів :

$$\sigma_{БЕ}^{20} \leq [\sigma_{Б}]^{20}.$$

$$109,173 \text{ МПа} \leq 220 \text{ МПа}$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$\sigma'_{BE} \leq [\sigma_B]'.$$

$$104,381 \text{ МПа} \leq 200 \text{ МПа}$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу :

$$M_{01\Phi} = 0,5 \cdot P_{Б1} \cdot (D_B - D_{сп}) = 0,5 \cdot 0,573 \cdot (0,68 - 0,627) = 0,015 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за робочих умов :

$$M_{02\Phi} = 0,5 \cdot (P_{Б2} (D_B - D_{сп}) + Q_g (D_{сп} - D - S_0)) \frac{[\sigma_\Phi]^{20}}{[\sigma_\Phi]'} =$$

$$= 0,5 \cdot (0,534 \cdot (0,68 - 0,627) + 0,03 \cdot (0,627 - 0,6 - 0,006)) \frac{160}{155} = 0,015 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$\text{де } \frac{[\sigma_\Phi]^{20}}{[\sigma_\Phi]'} = \max \left(\frac{[\sigma_{\Phi1}]^{20}}{[\sigma_{\Phi1}]'}, \frac{[\sigma_{\Phi2}]^{20}}{[\sigma_{\Phi2}]'} \right) = \max \left(\frac{160}{155}, \frac{160}{155} \right) = \frac{160}{155},$$

де $[\sigma_{\Phi1}]^{20}$ і $[\sigma_{\Phi2}]^{20}$ - допустимі напруження матеріалу фланців при температурі 293°K, МПа;

$[\sigma_{\Phi1}]'$, $[\sigma_{\Phi2}]'$ - допустимі напруження матеріалу фланців при робочій температурі, МПа.

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця :

$$M_{0\Phi} = \max(M_{01}; M_{02}) = \max(0,015; 0,015) = 0,015 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Максимальні напруження в перерізі S_0 фланців від дії згинаючого моменту

$M_{o\Phi}$:

$$\sigma_{o\Phi1} = \psi_3 \cdot \frac{T_\Phi \cdot M_{o\Phi} \cdot \omega_{\Phi1}}{D \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,837 \cdot 0,015 \cdot 0,232}{0,606 \cdot (0,01 - 0,001)^2} = 428,147 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{o\Phi2} = \psi_3 \cdot \frac{T_\Phi \cdot M_{o\Phi} \cdot \omega_{\Phi2}}{D \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,837 \cdot 0,015 \cdot 0,232}{0,606 \cdot (0,01 - 0,001)^2} = 428,147 \text{ МПа},$$

де ψ_3 - коефіцієнт поправки для перерізу S_0 , $\psi_3 = 1$.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту $M_{o\Phi}$:

$$\sigma_{K\Phi 1} = \frac{M_{o\Phi} \cdot (1 - \omega_{\Phi 1} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 1})) \cdot \psi_{2\Phi}}{D \cdot h_{\Phi 1}^2} = \frac{0,015 \cdot (1 - 0,232 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,667)) \cdot 11}{0,6 \cdot 0,025^2} =$$

$$= 109,343 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{K\Phi 2} = \frac{M_{o\Phi} \cdot (1 - \omega_{\Phi 2} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 2})) \cdot \psi_{2\Phi}}{D \cdot h_{\Phi 2}^2} = \frac{0,015 \cdot (1 - 0,232 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,667)) \cdot 11}{0,6 \cdot 0,025^2} =$$

$$= 109,323 \text{ МПа}.$$

Кільцеве та меридіональне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішнього тиску p :

$$\sigma_{x\Phi 1} = \sigma_{x\Phi 2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,1 \cdot 0,6}{2 \cdot (0,006 - 0,001)} = 6 \text{ МПа} ;$$

$$\sigma_{y\Phi 1} = \sigma_{y\Phi 2} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,1 \cdot 0,6}{4 \cdot (0,006 - 0,001)} = 3 \text{ МПа} .$$

Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців :

$$\sigma_{E\Phi 1} = \sqrt{(\sigma_{o\Phi 1} + \sigma_{y\Phi 1})^2 + \sigma_{x\Phi 1}^2 - (\sigma_{o\Phi 1} + \sigma_{y\Phi 1}) \cdot \sigma_{x\Phi 1}} =$$

$$= \sqrt{(428,147 + 3)^2 + 6^2 - (428,147 + 3) \cdot 6} = 429,686 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{E\Phi 2} = \sqrt{(\sigma_{o\Phi 2} + \sigma_{y\Phi 2})^2 + \sigma_{x\Phi 2}^2 - (\sigma_{o\Phi 2} + \sigma_{y\Phi 2}) \cdot \sigma_{x\Phi 2}} =$$

$$= \sqrt{(428,147 + 3)^2 + 6^2 - (428,147 + 3) \cdot 6} = 429,686 \text{ МПа}$$

Умови міцності:

$$\sigma_{E\Phi 1} \leq [\sigma_{\Phi 1}^{S_o}] \cdot \varphi ; .$$

$$429,686 \leq (600 \cdot 0,9 = 540) ;$$

$$\sigma_{E\Phi 2} \leq [\sigma_{\Phi 2}^{S_o}] \cdot \varphi ; .$$

$$429,686 \leq (600 \cdot 0,9 = 540) ,$$

де $[\sigma_{\Phi 1}^{S_o}]$, $[\sigma_{\Phi 2}^{S_o}]$ - допустимі напруження матеріалу фланця у перерізі S_o ,

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$[\sigma_{\Phi 1}^{S_o}] = [\sigma_{\Phi 2}^{S_o}] = 0,003 \cdot E_{\Phi}^t = 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 = 600 \text{ МПа}$$

φ - коефіцієнт міцності зварних швів, $\varphi = 0,9$.

Умови міцності виконуються.

Умови герметичності:

При $D \leq 2 \text{ м}$ $[\theta] = 0,009 \text{ рад}$

$$\frac{\sigma_{\text{КФ1}} \cdot D}{h_{\Phi 1} \cdot E_{\Phi 1}} \leq [\theta];.$$

$$\frac{109,343 \cdot 0,6}{0,025 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,0083 \leq 0,009;$$

$$\frac{\sigma_{\text{КФ2}} \cdot D}{h_{\Phi 2} \cdot E_{\Phi 2}} \leq [\theta];.$$

$$\frac{109,343 \cdot 0,6}{0,025 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,0083 \leq 0,009.$$

Умови герметичності виконуються.

Висновок: Приймаємо стандартні плоскі приварні у стик фланці з такими параметрами:

внутрішній діаметр, D , м	0,6;
діаметр фланця, D_{Φ} , м	0,72;
діаметр болтового кола, $D_{\text{Б}}$, м	0,68;
товщина фланця, h_{Φ} , м	0,025;
матеріал фланця	12X18H10T

5.7 Розрахунок опор

Мета розрахунку: вибрати сідлову опору для апарату; перевірити на міцність та стійкість обичайку від дії реакцій сідлових опор.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Схема спираання посудини на сідлові опори та основна розрахункова схема зображені на рисунках 5.7 та 5.8.

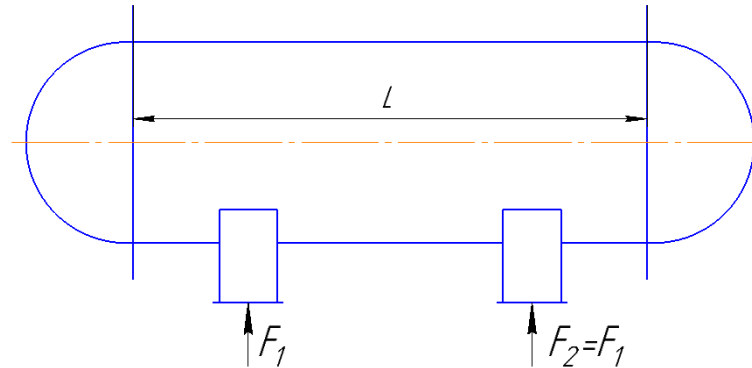


Рисунок 5.7 – Схема спираання посудини на сідлові опори

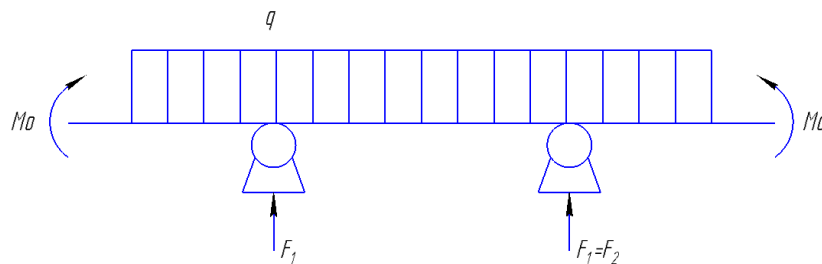


Рисунок 5.8 – Основна розрахункова схема для визначення опорних зусиль

Для встановлення горизонтальних апаратів на робочому місці застосовують сідлові опори. Даний теплообмінник необхідно встановлювати на сідлових опорах типу 2 виконання 2 [18].

Ескіз сідлової опори зображений на рисунку 5.9

Розрахунок проводимо згідно методики наведеної в [18], яка передбачає перевірку міцності та стійкості корпусу апарата від дії опорних навантажень, і, якщо необхідно, визначення товщини та ширини підкладного листа.

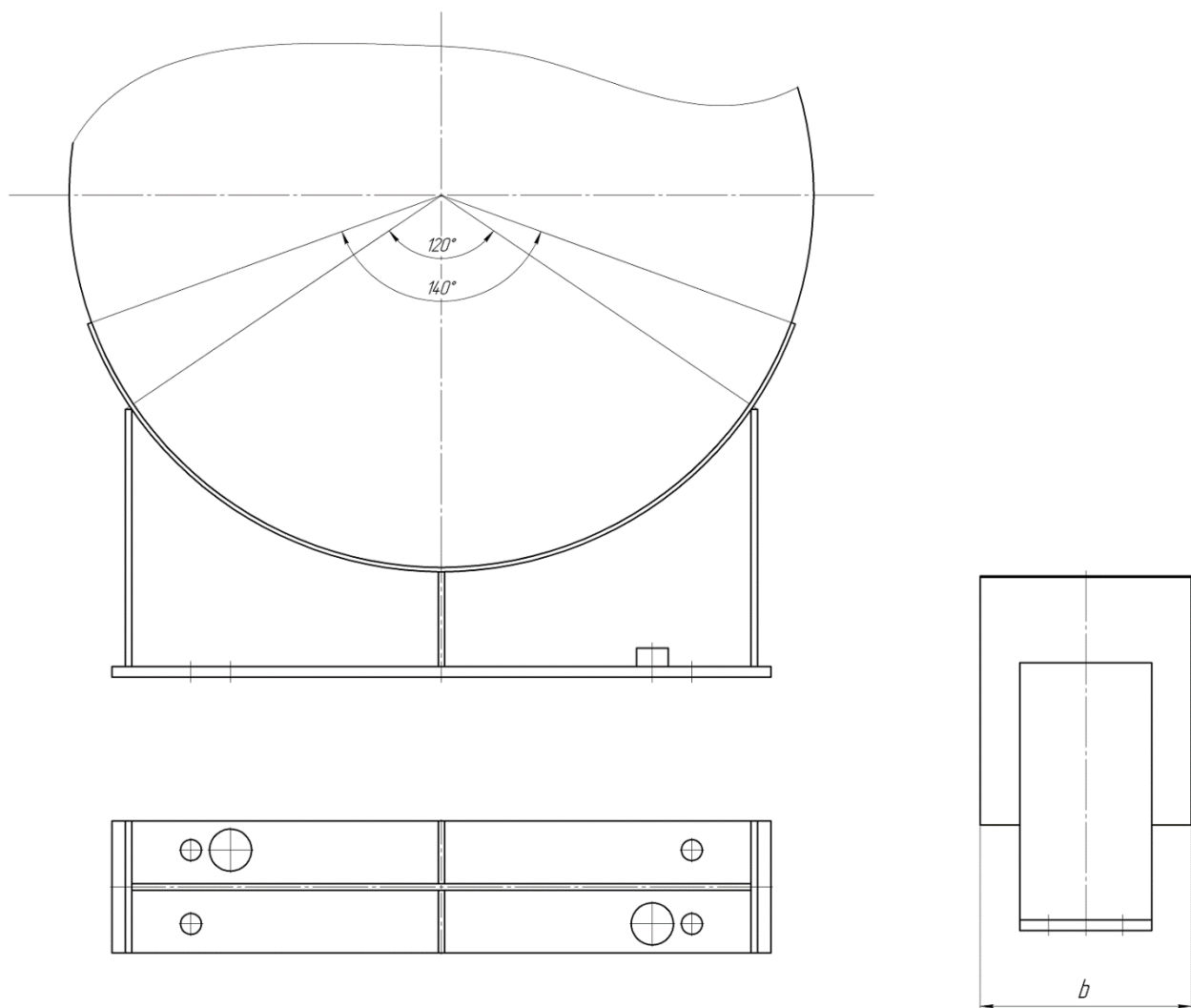


Рисунок 5.9– Ескіз сідлової опори

Вихідні дані:

вага апарата G , МН	0,019;
кількість опор n	2;
внутрішній надлишковий тиск P , МПа	0,1;
внутрішній діаметр обичайки D , м	0,6;
товщина обичайки S , м	0,006;
додаток до розрахункової товщини C , м	0,001;

довжина циліндричної частини корпусу L , м	6;
відстань між опорами l_1 , м	4;
відстань від опори до краю циліндричної частини корпусу a_1 , м	0,66;
кут охоплення обичайки опорним листом δ	120°;
ширина листа b , м	0,22;
допустиме напруження при розрахунковій температурі $[\sigma]^t$, МПа	155;
модуль пружності при розрахунковій температурі E^t , МПа	$2 \cdot 10^5$
відстань від опори до найближчого зварного шва	$F=0,5$.

Навантаження на горизонтальні опори:

Розподілене навантаження за довжиною апарата:

$$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3}H} = \frac{0,019}{6 + \frac{4}{3} \cdot 0,1} = 0,032 \text{ МН/м},$$

де $H=0,35$ м – висота опуклої частини еліптичного днища[15].

Зосереджений момент:

$$M_0 = \frac{qD^2}{4} = \frac{0,032 \cdot 0,6^2}{4} = 0,028 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Відношення:

$$M_0 = \frac{a_1}{l_1} = \frac{0,66}{2} = 0,33$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Довжина вільно виступаючої частини еквівалентної посудини:

$$e = a_1 + \frac{2}{3} \cdot H = 0,66 + \frac{2}{3} \cdot 0,1 = 0,727 \text{ м.}$$

Опорне зусилля:

$$F_1 = \frac{\psi_1 \cdot G}{n} = \frac{1 \cdot 0,019}{2} = 0,00965 \text{ МН,}$$

де ψ_1 – коефіцієнт, $\psi_1 = 1$ [19].

Вигинаючий момент над i -тою опорою:

$$M_1 = M_2 = \frac{qe^2}{2} - M_0 = \frac{0,032 \cdot 0,727^2}{2} - 0,028 = 0,0055 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Максимальний вигинаючий момент між опорами:

$$\begin{aligned} M_i = M_{12} &= M_0 + F_1 \left(\frac{L}{2} - a_1 \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{L}{2} + \frac{4}{3} H \right)^2 = \\ &= 0,028 + 0,009 \cdot \left(\frac{6}{2} - 0,66 \right) - \frac{0,003}{2} \left(\frac{6}{2} + \frac{4}{3} \cdot 0,1 \right)^{0,25} = 0,0074 \text{ МН} \cdot \text{м.} \end{aligned}$$

Поперечне зусилля в перерізі над i -тою опорою:

$$Q_i = \frac{L - 2a_1}{4} F_i = \frac{6 - 2 \cdot 0,66}{4} \cdot 0,00965 = 0,011 \text{ МН.}$$

Перевірка несучої спроможності обичайки, яка в області опорного вузла не підкріплена підкладним листом та кільцем жорсткості.

Умови застосування розрахункових формул і коефіцієнт міцності зварного шва:

$$60^\circ \leq \delta_1 = 140^\circ \leq 180^\circ,$$

$$\sqrt{D(S - C)} = \sqrt{0,6 \cdot (0,006 - 0,001)} = 0,055 < f = 0,06.$$

Умови виконується, отже $\varphi = 1$.

Параметри системи:

Параметр, що визначається відстанню від вертикальної осі симетрії сидлової опори до днища:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$\gamma = 2,83 \frac{a_1}{D} \sqrt{\frac{S-C}{D}} = 2,83 \cdot \frac{0,66}{0,6} \sqrt{\frac{0,006-0,001}{0,6}} = 0,284$$

Параметр, що визначається шириною сідлової опори:

$$\beta = 0,91 \frac{b}{\sqrt{D(S-C)}} = 0,91 \frac{0,22}{\sqrt{0,6 \cdot (0,006-0,001)}} = 3,655.$$

Загальне осьове мембранне напруження, що діє в області приєднання опорного вузла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4M_i}{\pi \cdot D^2(S-C)} = \frac{4 \cdot 0,0074}{3,14 \cdot 0,6^2 \cdot (0,006-0,001)} = 2,982 \text{ МПа.}$$

Допустимий вигинаючий момент за умовою міцності циліндричної обичайки:

$$\begin{aligned} [M]_M &= \frac{\pi}{4} D(D+S-C)(S-C)[\sigma] = \\ &= \frac{3,14}{4} \cdot 0,6 \cdot (0,6+0,006-0,001) \cdot (0,006-0,001) \cdot 155 = 0,2 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Допустимий вигинаючий момент за умовою стійкості в границях пружності:

$$\begin{aligned} [M]_E &= \frac{89 \cdot 10^{-6} E}{n_c} D^3 \left[\frac{100(S-C)}{D} \right]^{2,5} = \\ &= \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 0,6^3 \cdot \left[\frac{100(0,006-0,001)}{0,6} \right]^{2,5} = 1,016 \text{ МН} \cdot \text{м,} \end{aligned}$$

де n_c – коефіцієнт стійкості, $n_c = 2,4$ [18].

Допустимий вигинаючий момент:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[M] = \frac{[M]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_M}{[M]_E}\right)^2}} = \frac{0,2}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,2}{1,016}\right)^2}} = 0,196 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умов стійкості циліндричної обичайки:

$$\begin{aligned} [F]_M &= \pi(D + S - C)(S - C)[\sigma] = \\ &= 3,14 \cdot (0,6 + 0,006 - 0,001) \cdot (0,006 - 0,001) \cdot 155 = 1,33 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умов стійкості в границях пружності:

$$\begin{aligned} [F]_E &= \frac{310 \cdot 10^{-6} E}{n_c} D^2 \left[\frac{100(S - C)}{D} \right]^{2,5} = \\ &= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 0,6^2 \cdot \left[\frac{100(0,006 - 0,001)}{0,6} \right]^{2,5} = 5,896 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля:

$$[F] = \frac{[F]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_M}{[F]_E}\right)^2}} = \frac{1,33}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,33}{5,896}\right)^2}} = 1,298 \text{ МН}.$$

Допустиме поперечне зусилля за умовами міцності:

$$[Q]_M = 0,25 \cdot \pi \cdot D \cdot (S - C) \cdot [\sigma] = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,6 \cdot (0,006 - 0,001) \cdot 155 = 0,33 \text{ МН}.$$

Допустиме поперечне зусилля за умовами стійкості в границях пружності:

$$\begin{aligned} [Q]_E &= \frac{2,4 E (S - C)^2}{n_c} \left[0,18 + 3,3 \frac{D(S - C)}{L^2} \right] = \\ &= \frac{2,4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (0,006 - 0,001)^2}{2,4} \cdot \left[0,18 + 3,3 \frac{0,6 \cdot (0,006 - 0,001)}{6^2} \right] = 0,901 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Допустиме поперечне зусилля:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$[Q] = \frac{[Q]_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_M}{[Q]_E}\right)^2}} = \frac{0,33}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,33}{0,901}\right)^2}} = 0,31 \text{ МН.}$$

Геометричні характеристики циліндричної обичайки без підкладного листа:

$$y = \frac{D}{S - C} = \frac{0,6}{0,006 - 0,001} = 120,$$

$$u = \frac{L}{D} = \frac{6}{0,6} = 10.$$

Коефіцієнт, що враховує часткове заповнення апарату рідиною:

$$K_9 = \max \{f(z); 1\} = \max \{0,84; 1\} = 1.$$

де $f(z) = 0,84$ визначається за наступною формулою:

$$\begin{aligned} z &= 1,6 - 0,20924 \cdot (u - 1) + 0,028702 \cdot u \cdot (u - 1) + 0,04795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (u - 1) - \\ &\quad - 0,2391 \cdot 10^{-6} \cdot u \cdot y \cdot (u - 1) - 0,89936 \cdot 10^{-6} \cdot (u - 1) \cdot y^2 + \\ &\quad + 0,88174 \cdot 10^{-6} \cdot u^2 \cdot (u - 1) - 0,75995 \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (u - 1) \cdot u^3 + 0,48168 \cdot 10^{-9} \cdot (u - 1) \cdot y = \\ &= 1,6 - 0,20924 \cdot (120 - 1) + 0,028702 \cdot 120 \cdot (120 - 1) + 0,04795 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot \\ &\quad \cdot (120 - 1) - 0,2391 \cdot 10^{-6} \cdot 120 \cdot 10 \cdot (120 - 1) - \\ &\quad - 0,89936 \cdot 10^{-6} \cdot (120 - 1) \cdot 10^2 + 0,88174 \cdot 10^{-6} \cdot 120^2 \cdot (120 - 1) - \\ &\quad - 0,75995 \cdot 10^{-8} \cdot 10^2 \cdot (120 - 1) \cdot 120^3 + 0,48168 \cdot 10^{-9} \cdot (120 - 1) \cdot 10 = \\ &= 0,84 \end{aligned}$$

Коефіцієнти, що враховує вплив ширини поясу опори

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta} \sin \beta}{\beta}; 0,25 \right\} = \max \{-0,432; 0,25\} = 0,25,$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta} \sin \beta}{\beta} = \frac{1 - e^{3,655} \cdot \sin 3,655}{3,655} = 1,039.$$

Коефіцієнти, що враховують вплив кута охоплення:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,143 \cdot \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180}}{\sin\left(0,5\delta_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = \frac{1,15 - 0,143 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}}{\sin\left(0,5 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}\right)} = 0,852,$$

$$K_{13} = \frac{\max\left\{1,7 - \frac{2,1\delta_1 \cdot \frac{\pi}{180}}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0,5\delta_1)} = \frac{\max\left\{1,7 - \frac{2,1 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}}{3,14}; 0\right\}}{\sin\left(0,5 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}\right)} = 0,071,$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180}}{\sin\left(0,5 \cdot \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}}{\sin\left(0,5 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}\right)} = 0,425.$$

Коефіцієнти, що враховують відстань від осі опори до днища:

$$K_{15} = \min\left\{1,0; \frac{0,8\sqrt{\gamma} + 6\gamma}{\delta_1}\right\} = \min\left\{1,0; \frac{0,8\sqrt{0,284} + 6 \cdot 0,284}{140 \cdot \frac{3,14}{180}}\right\} =$$

$$= \min\{1,0; 0,873\} = 0,873.$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6\gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3\delta_1}} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot 0,284)^2} \cdot \sqrt{\frac{3,14}{3 \cdot 140 \cdot \frac{\pi}{180}}} = 0,891.$$

Коефіцієнти, що враховують геометричні розміри циліндричної обичайки:

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6\sqrt[3]{\frac{D}{S-C}} \cdot \frac{b}{D} \delta_1} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,6}{0,006 - 0,001}} \cdot \frac{0,22}{0,6} \cdot 140 \cdot \frac{\pi}{180}} = 0,274.$$

$$K_{19} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{S-C}} \delta_1} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,6}{0,00 - 0,001}} \cdot 140 \cdot \frac{\pi}{180}} = 0,069.$$

Перевірка несучої спроможності обичайки в перерізі між опорами.

Умова міцності:

$$\frac{pD}{4(S-C)} + \frac{4M_{12}K_9}{\pi D^2(S-C)} \leq \varphi[\sigma].$$

$$\frac{pD}{4 \cdot (S-C)} + \frac{4M_{12}K_9}{\pi D^2 \cdot (S-C)} = \frac{0,1 \cdot 0,6}{4 \cdot (0,006 - 0,001)} + \frac{4 \cdot (0,0075) \cdot 1}{3,14 \cdot 0,6^2 \cdot (0,006 - 0,001)} = 8,247 \text{ МПа}$$

$$\varphi[\sigma] = 1 \cdot 155 = 155 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову міцності за формулою (4.82):

$$8,247 < 155 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Умова стійкості:

$$\frac{|M_{12}|}{[M]} = \frac{0,0075}{0,196} = 0,038 < 1.$$

Умова стійкості виконується.

Коефіцієнт K_2 . За робочих умов $K_2=1,2$, за умов монтажу $K_2=1$ [19].

Коефіцієнти, що враховують ступінь навантаження загальними мембранними напруженнями:

У точці 2:

$$v_{21}^{(2)} = -\bar{\sigma}_{\max} \frac{K_2}{n_T[\sigma]} = -0,387 \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 155} = -0,002.$$

$$v_{22}^{(2)} = \left(\frac{pD}{4(S-C)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{K_2}{n_T[\sigma]} = \left(\frac{0,1 \cdot 0,6}{4(0,006 - 0,001)} - 0,387 \right) \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 155} = 0,015.$$

У точці 3:

$$v_{21}^{(3)} = 0.$$

$$v_{22}^{(3)} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S-C)} \cdot \frac{K_2}{n_T[\sigma]} = \frac{0,1 \cdot 0,6}{2 \cdot (0,006 - 0,001)} \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 155} = 0,017.$$

Коефіцієнт, що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

У точці 2:

Оскільки $v_{21}^{(2)} = -0,002 < 0$ то:

$$v_{11}^{(2)} = \frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = \frac{0,23 \cdot 0,071 \cdot 0,873}{0,852 \cdot 0,25} = 0,067.$$

Оскільки $v_{22}^{(2)} = 0,015 > 0$ то:

$$v_{12}^{(2)} = -\frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -\frac{0,23 \cdot 0,071 \cdot 0,873}{0,852 \cdot 0,25} = -0,067.$$

У точці 3:

Оскільки $v_{21}^{(3)} = 0$, то:

$$v_{11}^{(3)} = -\frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5\delta)} = -\frac{0,53 \cdot 1,039}{0,425 \cdot 0,891 \cdot 0,274 \cdot \sin(0,5 \cdot 140 \frac{\pi}{180})} = -5,648.$$

Оскільки $v_{22}^{(3)} = 0,017 > 0$, то:

$$v_{12}^{(3)} = -\frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5\delta)} = -\frac{0,53 \cdot 0,519}{0,425 \cdot 0,84 \cdot 0,395 \cdot \sin(0,5 \cdot 140 \frac{\pi}{180})} = -2,075$$

Коефіцієнт K_1 .

У точці 2:

Оскільки $v_{11}^{(2)} = 0,067 \neq 0$, то:

$$K_{11}^{(2)} = \frac{1 + 3v_{11}^{(2)}v_{21}^{(2)}}{3(v_{11}^{(2)})^2} \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot (v_{11}^{(2)})^2 [1 - (v_{21}^{(2)})^2]}{[1 + 3v_{11}^{(2)}v_{21}^{(2)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot 0,067 \cdot 0,0022}{3 \cdot 0,067^2} \left(\sqrt{\frac{9 \cdot 0,067^2 \cdot [1 - 0,0022^2]}{[1 + 3 \cdot 0,067 \cdot 0,0022]^2} + 1} - 1 \right) = 1,484$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

$$K_{11}^{(2)} = \frac{1 + 3v_{12}^{(2)}v_{22}^{(2)}}{3(v_{12}^{(2)})^2} \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot (v_{12}^{(2)})^2 [1 - (v_{22}^{(2)})^2]}{[1 + 3v_{12}^{(2)}v_{22}^{(2)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-0,067) \cdot 0,015}{3 \cdot (-0,067)^2} \left(\sqrt{\frac{9 \cdot (-0,067)^2 \cdot [1 - 0,015^2]}{[1 + 3 \cdot (-0,067) \cdot 0,015]^2} + 1} - 1 \right) = 1,48.$$

$$K_1^{(2)} = \min \{K_{11}^{(2)}, K_{12}^{(2)}\} = \min \{1,484; 1,48\} = 1,48.$$

У точці 3:

Оскільки $v_{11}^{(3)} = -5,648 \neq 0$, то:

$$K_{11}^{(3)} = \frac{1 + 3v_{11}^{(3)}v_{21}^{(3)}}{3(v_{11}^{(3)})^2} \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot (v_{11}^{(3)})^2 [1 - (v_{21}^{(3)})^2]}{[1 + 3v_{11}^{(3)}v_{21}^{(3)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-5,648) \cdot 0}{3 \cdot (-5,648)^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot (-5,648)^2 \cdot [1 - (0)^2]}{[1 + 3 \cdot (-5,648) \cdot 0]^2} + 1} - 1 \right) = 0,0021.$$

$$K_{11}^{(3)} = \frac{1 + 3v_{12}^{(3)}v_{22}^{(3)}}{3(v_{12}^{(3)})^2} \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot (v_{12}^{(3)})^2 [1 - (v_{22}^{(3)})^2]}{[1 + 3v_{12}^{(3)}v_{22}^{(3)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-5,648) \cdot 0,017}{3 \cdot (-5,648)^2} \cdot \left(-\sqrt{\frac{9 \cdot (-5,648)^2 \cdot [1 - 0,017^2]}{[1 + 3 \cdot (-5,648) \cdot 0,017]^2} + 1} - 1 \right) = 0,17.$$

$$K_1^{(3)} = \min \{K_{11}^{(3)}, K_{12}^{(3)}\} = \min \{0,0021; 0,17\} = 0,0015.$$

Граничне напруження вигину:

У точці 2:

$$[\sigma_1]^{(2)} = K_1^{(2)} [\sigma] \frac{n_T}{K_2} = 1,48 \cdot 155 \frac{1,5}{1,2} = 149,028 \text{ МПа.}$$

У точці 3:

$$[\sigma_1]^{(3)} = K_1^{(3)} [\sigma] \frac{n_T}{K_2} = 0,0021 \cdot 155 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 0,037 \text{ МПа.}$$

Допустимі опорні зусилля від навантажень в осьовому напрямку в точці 2:

$$[F]^{(2)} = \frac{0,7 \cdot [\sigma_1]^{(2)} \sqrt{D \cdot (S - C)} \cdot (S - C)}{K_{10} K_{12}} =$$

$$= \frac{0,7 \cdot 149,028 \cdot \sqrt{0,6 \cdot (0,006 - 0,001)} \cdot (0,006 - 0,001)}{0,25 \cdot 0,852} = 0,134 \text{ МН.}$$

Допустимі опорні зусилля від навантажень в осьовому напрямку в точці 3:

$$[F]^{(3)} = \frac{0,9 \cdot [\sigma_1]^{(3)} \sqrt{D \cdot (S - C)} \cdot (S - C)}{K_{14} K_{16} K_{17}} =$$

$$= \frac{0,9 \cdot 0,037 \cdot \sqrt{0,6 \cdot (0,006 - 0,001)} \cdot (0,006 - 0,001)}{0,425 \cdot 0,864 \cdot 0,274} = 0,0097 \text{ МН.}$$

Ефективне осьове зусилля від місцевих мембранних напружень, що діють в області опори:

$$F_e = F_i \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{D}{S - C}} K_{13} K_{15} =$$

$$= 0,0096 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot \sqrt{\frac{0,6}{0,006 - 0,001}} \cdot 0,071 \cdot 0,873 = 0,00015 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Умова стійкості:

$$\frac{M_i}{[M]} + \frac{F_e}{[F]} + \left(\frac{Q_s}{[Q]} \right)^2 = \frac{0,00055}{0,196} + \frac{0,00015}{1,298} + \left(\frac{0,011}{0,31} \right)^2 = 0,004 < 1.$$

Умова стійкості виконується

Умова міцності опорного вузла:

$$F_i \leq \min \{ [F]^{(2)}; [F]^{(3)} \}.$$

$$0,00965 \text{ МН} < \min \{ 0,134; 0,0097 \} \text{ МН.}$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова міцності опорного вузла виконується, підкладний лист застосовувати не треба.

5.8 Розрахунок ізоляції

Мета розрахунку: розрахувати та визначити товщину ізоляції корпусу і днища апарату.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.10.

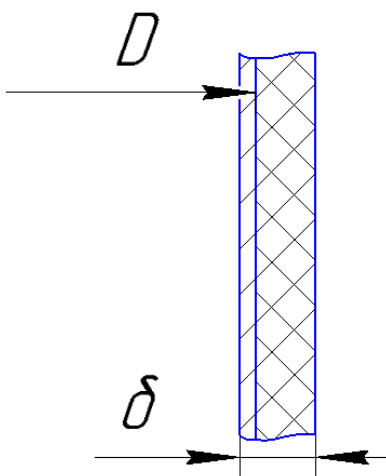


Рисунок 5.10 – Схема ізоляції

Вихідні дані:

Температура оточуючого середовища $t_c, ^\circ C$,	20;
температура в корпусі $t_k, ^\circ C$	90;
температура в днищі $t_d, ^\circ C$	200;
зовнішній діаметр корпусу $d, \text{м}$	0,600;
матеріал ізоляції	скляне штапельне волокно.

Розрахунок ведемо за методикою [20].

Середня температура теплоізоляційного шару корпусу апарата:

$$t_{\text{шк}} = \frac{(t_k + 40)}{2} = \frac{(90 + 40)}{2} = 65^\circ C.$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції:

$$\lambda_{kl} = 0,042 + 0,0028 \cdot t_{шк} = 0,042 + 0,0028 \cdot 65 = 0,06 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Опір теплопередачі на один метр довжини теплоізоляційної конструкції:

$$r_1 = \frac{t_k - t_c}{q_1 \cdot K_1} = \frac{90 - 20}{140 \cdot 1} = 0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де q_1 – нормована лінійна щільність теплового потоку з одного метра довжини циліндричної теплоізоляційної конструкції, $q_1 = 140 \text{ Вт/м}^2$,

K_1 – коефіцієнт, який враховує зміну вартості теплоти й теплоізоляційної конструкції, $K_1 = 1$.

Відношення зовнішнього діаметра ізоляційного шару до зовнішнього діаметра ізоляційного об'єкта:

$$\begin{aligned} B &= \exp \left(2 \cdot \pi \cdot \lambda_{kl} \cdot \left[r_1 - r_m - \frac{1}{\alpha_e \cdot \pi \cdot (d + 0,1)} \right] \right) = \\ &= \exp \left(2 \cdot 3,14 \cdot 0,06 \cdot \left[0,5 - 0 - \frac{1}{12 \cdot 3,14 \cdot (0,6 + 0,1)} \right] \right) = 1,201, \end{aligned}$$

де α_e – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища, $\alpha_e = 12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$,

r_m – термічний лінійний опір, $r_m = 0$.

Попередньо товщина теплоізоляційного шару:

$$\delta_{kl} = \frac{d}{2} \cdot (B - 1) = \frac{0,6}{2} \cdot (1,201 - 1) = 0,06 \text{ м}$$

Тоді товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k = \delta_{kl} \cdot K_c \cdot \frac{d + \delta_{kl}}{d + 2 \cdot \delta_{kl}} = 0,06 \cdot 1,6 \cdot \frac{0,6 + 0,061}{0,6 + 2 \cdot 0,061} = 0,088 \text{ м},$$

де K_c – коефіцієнта ущільнення ізоляції, $K_c = 1,6$.

Приймаємо товщину ізоляції $\delta_k = 0,1 \text{ м}$.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Середня температура теплоізоляційного шару днища апарата:

$$t_{\text{шд}} = \frac{(t_{\text{д}} + 40)}{2} = \frac{(200 + 40)}{2} = 120 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції

$$\lambda_{\text{д}} = 0,042 + 0,0028 \cdot t_{\text{шд}} = 0,042 + 0,0028 \cdot 120 = 0,076 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Опір теплопередачі на один метр довжини теплоізоляційної конструкції:

$$r_2 = \frac{t_{\text{д}} - t_{\text{с}}}{q_2 \cdot K_1} = \frac{200 - 20}{140 \cdot 1} = 1,286,$$

де q_2 – нормована лінійна щільність теплового, $q_2 = 140 \text{ Вт/м}^2$.

Термічний опір теплоізоляційної конструкції:

$$R = r_2 - \frac{1}{\alpha_{\text{е}}} - r_{\text{м}} = 1,286 - \frac{1}{12} - 0 = 1,202$$

Попередньо товщина теплоізоляційного шару:

$$\delta_{\text{д1}} = \lambda_{\text{д}} \cdot R = 0,076 \cdot 1,202 = 0,0046 \text{ м.}$$

Тоді товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_{\text{д}} = \delta_{\text{д1}} \cdot K_{\text{с}} \cdot \frac{d + \delta_{\text{д1}}}{d + 2 \cdot \delta_{\text{д1}}} = 0,0046 \cdot 1,6 \cdot \frac{0,6 + 0,0046}{0,6 + 2 \cdot 0,0046} = 0,0073 \text{ м.}$$

Приймаємо товщину ізоляції $\delta_{\text{д}} = 0,008 \text{ м.}$

Висновок: товщини ізоляції складає для корпусу $\delta_{\text{к}} = 0,01 \text{ м}$ і днища

$\delta_{\text{д}} = 0,006 \text{ м.}$

5.9 Розрахунок укріплення отворів

Мета розрахунку: визначити, чи потребують отвори укріплення.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.11.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

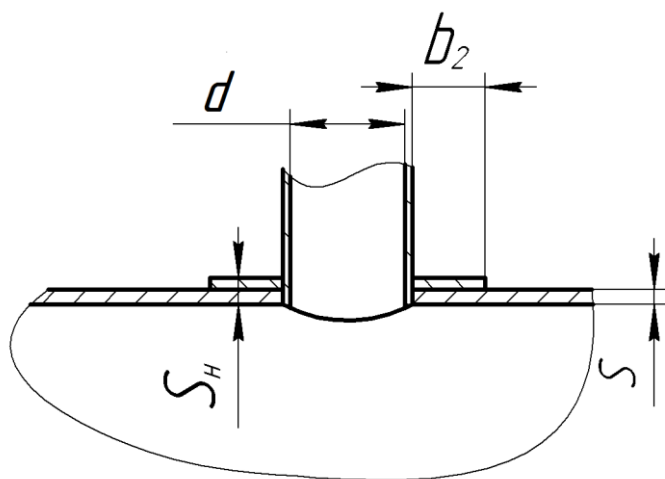


Рисунок 5.11– Схема укріплення отворів

Вихідні дані:

діаметр апарату D ,м	0,6;
діаметр отвору d ,м	0,08;
виконавча товщина стінки S ,м	0,006;

Розрахунок ведемо за методикою [21].

Умова поодинокості отвору :

$$\Delta = 2\sqrt{D \cdot (S - C)} = 2 \cdot \sqrt{0,6 \cdot (0,006 - 0,001)} = 0,11\text{м}$$

де C – додаток до розрахункової товщини, $C = 0,001\text{м}$

Найбільший допустимий діаметр отвору, який не потребує укріплення:

$$d_o = 2 \cdot \left[\left(\frac{S - C}{S_p} \right) - 0,8 \cdot \sqrt{D \cdot (S - C)} - C_{ui} \right] =$$

$$2 \cdot \left[\left(\frac{0,006 - 0,001}{0,003} \right) - 0,8 \cdot \sqrt{0,6 \cdot (0,006 - 0,001)} - 0,001 \right] = 0,094\text{м}$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

$$d = 0,1 < d_0 = 0,094$$

де S_p – розрахункова товщина стінки обичайки, $S_p = 0,003\text{м}$;

C_{ui} – додаток до товщини штуцера, $C_{ui} = C = 0,001$.

Висновок : Укріплення отворів за даних умов не потрібно.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації теплообмінника

Робота по монтажу заключається в установці апаратів на фундаменті, установці та приєднанні допоміжного обладнання, приєднання трубопроводів, деталей вузлів підведення та відводу продуктів, установці приладів теплового контролю та автоматичної регуляції. В процесі монтажу виявляються та усуваються дефекти конструкції та виготовлення апаратури. Одночасно здійснюється налагодження роботи апарата з метою підготовки до експлуатації.

Загальні вказівки:

- а) обрати способи транспортування, розвантаження і зберігання таким чином, щоб мінімізувати та уникнути механічних пошкоджень частин апарату та вберегти його від корозійного впливу.
- б) стропування апарата виконувати у відповідності до схемою, що зображена у паспорті апарата.
- в) стропувати теплообмінник за не призначені для цього, виступаючі частини , заборонено;
- г) обережно транспортувати та розвантажувати комплектуючі, що прийшли в окремих коробках;
- д) транспортувати апарат волоком - заборонено.

Заходи, що необхідно провести перед монтажем:

- розпакувати та оглянути усі одиниці та деталі, та перевірити на цілісність;
- перевірити комплектацію теплообмінника по відомостям;

Заходи безпеки під час монтажу, використання та ремонту:

- а) усі роботи проводити згідно з правилами безпеки, встановленими на підприємстві.
- б) вжити заходів за для запобігання перекидання апарата;
- в) під час роботи апарата, заборонено втручання у конструкцію апарата;
- г) всередині апарата, не допускати замерзання рідини у холодну пору року;

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

д) на місці монтажу встановити попереджуючі знаки та маркируючі щитки .

Підготовка до роботи:

а) підприємство-власник зобов'язане отримати технологічний регламент установки з умовами експлуатації обладнання;

б) провести гідравлічні випробування апарата разом з трубопроводами на тиск, який вказаний на кресленні, щільність всіх роз'ємних з'єднань.

в) перед пуском апаратів в експлуатацію видалити повітря із апарату. Вміст кисню в речовині, що виходить із апарата, має складати не більше 2% за показниками контрольно-вимірювальних приладів.

Перед пуском апарата провести перевірку:

а) надійності, правильності та комплектності усіх з'єднань;

б) надійності та герметичності приєднань вентилів, кранів, клапанів та іншої арматури.

Перевірка технічного стану і технічне обслуговування:

а) у разі виникнення необхідності черговим слюсарем проводиться ремонт або заміна манометрів, термометрів і т. п.;

б) згідно з діючим на підприємстві положенням, проводити плановий ремонт апаратів .

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Стандартизація у машинобудуванні – установлення і використання стандартів з метою упорядкування. До стандартного належить виріб (складова частина, деталь, складальна одиниця) застосований згідно з державним чи галузевим стандартом, яким встановлено його конструкцію, якісні характеристики, методи контролю.

Уніфікація – приведення виробів або їх елементів до однієї форми, розмірів, структури, та складу.

Мета розрахунку: визначення рівня стандартизації та уніфікації теплообмінника.

Розрахунок виконаний за [26]

Вихідні дані:

Загальна кількість деталей N , шт 818;

Кількість стандартних деталей n_c , шт 391;

Кількість уніфікованих деталей n_z , шт 216;

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{391}{818} = 0,48;$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} = \frac{391 + 216}{818} = 0,742.$$

Висновок: у результаті розрахунку встановлено, що коефіцієнт стандартизації $K_c = 0,48$, а коефіцієнт уніфікації $K_y = 0,742$.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

8.Економічна частина проекту

Підвищення рівня конкурентоспроможності продукції вітчизняного хімічного машинобудування неможливе без впровадження нових технологій, високопродуктивного обладнання, сучасних прогресивних конструкційних матеріалів, а також без технічного переозброєння, реконструкції та будівництва нових дільниць, цехів та підприємств в цілому. Все це потребує великих інвестицій, яких не вистачає в Україні в нинішніх умовах трансформації економіки країни на засади ринкової економіки.

Виходячи з цього, кожний технічний, організаційний чи господарський проект або будь – яке нововведення повинні бути ретельно обґрунтовані з економічної точки зору.

Економічна частина даного дипломного проекту має на меті зробити техніко-економічні обґрунтування доцільності модернізації конкретно обраного апарату (теплообмінника), в якому проходить теплообмінний процес, зокрема, охолодження дизельного палива водою. Такі апарати знайшли в даний час широке застосування в хімічній, харчовій, біологічній та і в інших галузях промисловості. Зокрема теплообмінні апарати застосовуються для нагрівання або охолодження різних речовин для подальшого використання, транспортування, чи зберігання. Таким чином виконання робіт по удосконаленню конструкції теплообмінника є досить актуальною проблемою, яке вимагає вирішення і яке може сприяти підвищенню ефективності виробництва.

При виконанні робіт по удосконаленню конструкції діючого апарату необхідно було обрати базисний зразок аналогічного апарату для порівняння їх техніко-економічних показників. Такий базисний апарат має горизонтальний корпус з кришкою та еліптичним днищем, теплообмінні труби. Теплоносій, що охолоджується – рухається в трубному просторі. А вода, що приймає тепло – у міжтрубному.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

8.1 Техніко – економічні показники

Даний базисний апарат має досить добрі експлуатаційні характеристики. Однак з нашої точки зору є цілий ряд невикористаних резервів, реалізація яких може суттєво підвищити експлуатації базисного апарату. Зокрема, з метою інтенсифікації процесу теплообміну пропонується виконати таку роботу по зміні конструкції теплообмінника:

- 1) змінити конструкцію теплообмінних труб.

Таким чином виконана робота дозволяє нам:

- 1) інтенсифікувати процес теплообміну;
- 2) підвищити коефіцієнт теплопередачі.

Основні техніко-економічні показники базового та модернізованого теплообмінника представлено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Порівняльна характеристика базового та модернізованого теплообмінника

Назва показників	Одиниця вимірювання	Конструкція	
		Базова	Модернізована
1	2	3	4
Продуктивність теплообмінника за дизельним паливом	кг/с	4	6
Тиск у теплообміннику: - трубний простір	МПа	0,1	0,1

Продовження таблиці 8.1

1	2	3	4
- міжтрубний простір	МПа	0,1	0,1
Температура диз. палива:			
- на вході	К	473	473
- на виході		313	313
Температура води:			
- на вході	К	293	293
- на виході		363	363
Вартість теплообмінника $\Phi_{\text{перв}}$ (первісна)	тис.грн.	70	95
Тривалість ремонтного циклу	місяців	15	17
Габаритні розміри теплообмінника:			
- довжина	мм	6755	6755
- внутрішній діаметр		800	600
Маса апарату	кг	1160	1035

8.2 Розрахунки витрат на проведення проектно-конструкторських робіт по удосконаленню теплообмінника

Модернізацію базового апарату (теплообмінника) розраховуємо у відповідності зі ступенем складності та обсягів проектно-конструкторської документації, яку необхідно розробити на етапи конструкторської підготовки.

Модернізація діючого устаткування означає його вдосконалення з метою попередження або усунення фізичного зносу, техніко-економічного старіння та підвищення його технічних параметрів до рівня сучасних вимог.

Економічно доцільно здійснювати модернізацію устаткування під час проведення його капітального ремонту. Зазвичай модернізація устаткування хімічної та нафтопереробної галузей промисловості забезпечує збільшення його продуктивності на 10-18%, а здійснені згідно з нею витрати не перевищують половини вартості нових знарядь виробництва аналогічного призначення.

Розрахунки ефективності на проведення модернізації устаткування полягають у визначенні коефіцієнта ефективності витрат n_{pi} , який розраховується за формулою [22, с. 6]

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{e_i}}{K_{H_i} \alpha \beta + S_{a_i}}, \quad (8.1)$$

де M_i - сукупні витрати на проведення модернізації устаткування, грн.;

S_{e_i} - перевищення експлуатаційних (поточних) витрат модернізованого устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням, грн.;

K_{H_i} - оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, грн.;

α - коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

β - коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

S_{a_i} - втрати від недоамортизації устаткування, яке підлягає модернізації.

Розрахований по формулі (8.1) коефіцієнт n_{p_i} може мати позитивні, негативні або нульове значення (таблиця 8.2).

Сукупні витрати M_i на проведення модернізації устаткування складаються з таких окремих елементів, а саме:

- матеріальні витрати (вартість сировини, матеріалів, комплектуючих виробів та енергоносіїв, які необхідні для виконання модернізації);
- витрати на оплату праці (заробітна плата розробників конструкторської та технологічної документації; заробітна плата основних робітників, які виконують роботи по модернізації устаткування; відрахування на соціальне страхування);
- амортизація, яка нарахована на діюче устаткування, яке підлягає модернізації;
- інші види витрат.

Таблиця 8.2 - Значення коефіцієнту ефективності витрат n_{p_i} на модернізацію устаткування [22, с.6, таблиця 2]

Величина коефіцієнта n_{p_i}	Висновок щодо доцільності модернізації устаткування
$n_{p_i} > 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору доцільна
$n_{p_i} < 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору недоцільна. Доцільним є придбання нового устаткування.
$n_{p_i} = 0$	Рішення про модернізацію устаткування приймається, виходячи з конкретних виробничих обставин.

З достатньою для розрахунків точністю, яка базується на практичних даних

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

підприємств хімічного машинобудування, величина сукупних витрат M_i на модернізацію устаткування може бути розрахована по формулі [19, с. 7]:

$$M_i = \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} \cdot K_i, \quad (8.2)$$

де $\Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}}$ – первісна (відновлена) вартість устаткування, яке підлягає модернізації;

K_i - коефіцієнт витрат, величина якого залежить від виду і типу устаткування, яке підлягає модернізації. Рекомендовані величини коефіцієнтів K_i приведені в [22, с. 8, таблиця 3].

Модернізоване устаткування у процесі подальшої експлуатації, як правило, вимагає більш високих експлуатаційних (поточних) витрат у порівнянні з аналогічним новим устаткуванням.

Згідно даних підприємств, де експлуатується аналогічне обладнання, первісна вартість теплообмінника $\Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} = 90$ тис. грн.

Величина коефіцієнта витрат на модернізацію K_i згідно даних табл. 3 [22, стор.8] $K_i = 0,06$.

Таким чином величина витрат для проведення модернізації теплообмінника:

$$M_i = \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 90000 \cdot 0,06 = 5400 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні (поточні) витрати при роботі устаткування складаються з таких витрат:

- витрати паливно-мастильних матеріалів;
- витрати на придбання та виготовлення необхідних запасних частин;
- витрати на оплату праці ремонтного персоналу;
- інші поточні експлуатаційні витрати.

З достатнім для розрахунків ступенем точності, який базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина перевищення експлуатаційних (поточних) витрат по модернізованому

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

устаткуванню порівняно з новим аналогічним устаткуванням S_{ei} може бути розрахована по формулі [22, с. 9]:

$$S_{ei} = q_{b_i} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} - q_{b_n} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}}, \quad (8.3)$$

де q_{b_i} – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації;

q_{b_n} – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування;

$\Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}}$ – первісна вартість нового (аналогічного) устаткування.

Таким чином розраховуємо величину перевищення поточних витрат по модернізованому устаткуванню порівняно з новим аналогічним устаткуванням:

$$S_{ei} = q_{b_i} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} - q_{b_n} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 0,12 \cdot 90000 - 0,1 \cdot 70000 = 3800 \text{ грн.}$$

Примітка: Згідно даних, які вміщують інтернет-відомості вартість нового аналогічного устаткування складає $\Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 70 \text{ тис. грн.}$

Коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування α розраховується по формулі [22, с. 11]:

$$\alpha = \frac{\Pi_i}{\Pi_{\text{нов}}}, \quad (8.4)$$

де Π_i – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу устаткування, яке підлягає модернізації;

$\Pi_{\text{нов}}$ – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу аналогічного нового устаткування.

Тоді коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування становить:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha = \frac{\Pi_i}{\Pi_{\text{нов}}} = \frac{5}{4} = 1,25.$$

Коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування β розраховується по формулі [22, с. 11]:

$$\beta = \frac{T_{\text{мод}}}{T_{\text{нов}}}, \quad (8.5)$$

де $T_{\text{мод}}$ – тривалість ремонтного циклу устаткування, яке підлягає модернізації;
 $T_{\text{нов}}$ – тривалість ремонтного циклу аналогічного нового устаткування.

Таким чином, коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування β становить:

$$\beta = \frac{T_{\text{мод}}}{T_{\text{нов}}} = \frac{17}{15} = 1,133.$$

Тривалість ремонтного циклу устаткування – це період часу між двома капітальними ремонтами устаткування, або тривалість часу між придбанням устаткування та першим капітальним ремонтом. В якості показників ремонтного циклу можуть також використовуватися показники виробітку продукції між двома капітальними ремонтами устаткування та інші аналогічні показники.

Підставляючи всі знайдені величини у формулу (8.1), необхідно отримати величину коефіцієнта ефективності витрат n_{pi} , розрахункова величина якого дає нам змогу зробити висновки щодо доцільності проведення модернізації обраного в дипломному проекті устаткування.

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{e_i}}{K_{H_i} \cdot \alpha \cdot \beta + S_{a_i}} = 1 - \frac{5400 + 3800}{70000 \cdot 1,25 \cdot 1,133 + 10000} = 0,084.$$

Висновок: розраховане значення коефіцієнта ефективності витрат $n_{pi} > 0$, а це значить, що модернізація теплообмінника є економічно доцільна. У якості аналога використовувався сучасний вітчизняний теплообмінник.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Висновки

В дипломному проекті освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» по темі «Модернізація кожухотрубного теплообмінника для охолодження дизельного палива установки АВТ».

Для виконання поставленого завдання проведено огляд існуючих конструкцій на основі якого зроблено вибір конструкції апарата на користь з теплообмінника з плаваючою головкою.

Сутність модернізації полягає у тому, що звичайні теплообмінні труби замінено на труби змінного діаметру з спеціальними вставками. Вставки також мають змінний діаметр.

Таке виконання дозволяє підвищити ступінь турбулізації.

За результатами проведених розробок отримано позитивне рішення на патент (номер заявки № 201901033), опубліковані дві тези в “XXIII та XXIV Всеукраїнська наукова конференція студентів та молодих вчених”.

Проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що пов’язані з виробництвом дизельного палива, на основі якого зроблено висновок, що установка повністю відповідає вимогам охорони праці.

Здійсненні розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції. Виконаний параметричний розрахунок, гідравлічний розрахунок, конструктивний розрахунок, розрахунки на міцність основних вузлів та деталей апарата (визначення товщини стінки циліндричної обичайки та еліптичного днища, розрахунок фланцевого з’єднання, розрахунок опор, розрахунок укріплення отворів) та розрахунок ізоляції. Розрахунки на міцність виконані згідно діючих державних та галузевих стандартів.

Наведені рекомендації з виготовлення, монтажу й експлуатації розробленого апарата. Проведено техніко-економічне обґрунтування модернізації.

Графічна частина проекту включає три креслення формату А1, одне креслення формату А2 та два креслення формату А3 що містять технологічну схему

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

установки АВТ, складальне креслення теплообмінника, креслення трубчатки, креслення корпусу, креслення розподільчої камери та креслення опори. До складальних креслень складені специфікації. Креслення виконані із застосуванням програмного забезпечення КОМПАС, розрахунки – за допомогою MathCad.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Выводы

В дипломном проекте образовательно-квалификационного уровня «бакалавр» по теме « модернизация кожухотрубного теплообменника для охлаждения дизельного топлива установки АВТ».

Для выполнения поставленной задачи проведен обзор существующих конструкций на основе которого сделан выбор конструкции аппарата в пользу теплообменника с плавающей головкой.

Суть модернизации состоит в том, что обычные теплообменные трубы заменены на трубы переменного диаметра с специальными вставками. Вставки так же выполнены с переменным диаметром

Такое исполнение позволит повысить уровень турбулизации.

По результатам проведенных разработок получено положительное решение по патенту (заявка № 201901033), опубликованы два тезиса в "XXIII и XXIV Всеукраинская научная конференция студентов и молодых ученых".

Проведен анализ вредных и опасных факторов, связанных с производством дизельного топлива, на основе которого сделан вывод, что установка полностью соответствует требованиям охраны труда.

Осуществлении расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции. Выполненный параметрический расчет, гидравлический расчет, конструктивный расчет, расчеты на прочность основных узлов и деталей аппарата (определение толщины стенки цилиндрической обечайки и эллиптического днища, расчет фланцевого соединения, расчет опор, расчет укрепления отверстий) и расчет изоляции. Расчеты на прочность выполнены согласно действующих государственных и отраслевых стандартов.

Приведены рекомендации по изготовлению, монтажу и эксплуатации разработанного аппарата. Проведено технико-экономическое обоснование модернизации.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Графическая часть проекта включает три чертежи формата А1, один чертеж формата А2 и два чертежа формата А3 содержащие технологическую схему производства дизельного топлива, сборочный чертеж теплообменника, чертежи корпуса, чертежи распределительной камеры, чертежи крышки. К сборочным чертежам составлены спецификации. Чертежи выполнены с применением программного обеспечения КОМПАС, расчеты - с помощью MathCad.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Conclusions

In the Bachelor Diploma project on the theme: "Modernization of a shell-and-tube heat exchanger for diesel fuel cooling of atmospheric vacuum distillation unit" has been developed.

To accomplish the task, a review was made of the existing structures on the basis of which the design of the apparatus was chosen in favor of a floating-head heat exchanger.

The essence of the modernization is that the usual heat exchange tubes are replaced by tubes of variable diameter with alternate cylindrical sections and connecting confuser and diffuser sections, the cylindrical sections are located eccentrically. Variable diameter inserts.

Such a design will increase the level of turbulisation.

According to the results of the development, the Ukrainian patent № 133145 was obtained, two theses were published in the "XXIII and XXIV Ukrainian Scientific Conference of Students and Young Scientists".

The analysis of hazardous and hazardous factors related to the production of butadiene has been carried out, on the basis of which it is concluded that the installation fully meets the requirements of Occupational Health.

Realization of calculations proving the efficiency and reliability of the design. Parametric calculation, hydraulic calculation, structural calculation, calculations for the strength of the main units and parts of the device (determination of the thickness of the wall of the cylindrical shell and the elliptical bottom, calculation of the flanged connection, hole reinforcement calculation,) and the calculation of the insulation are carried out. Calculations for durability are performed in accordance with current state and industry standards.

The recommendations for manufacturing, installation and operation of the developed device are given. Techno-economic justification of modernization has been implemented.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

The graphic part of the project was made in “COMPAS 3D environment and includes three drawings of A1 format, one drawing A2 and two drawings of A3 format containing: a technological scheme for diesel fuel production, a heat exchanger assembly drawing, a body drawing, a drawing of a distribution chamber, and a drawing of a cover. All calculation ns were made by using MathCad.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань:

1. Patent № US 20190072343 Compact heat exchanger, Application No. 16/122,263, Date of Patent Mar. 7, 2019
2. Патент №121952 (UA), МПК 2006.01 F28D 7/00. Кожухотрубний теплообмінник Мікульонок Ігор Олегович, Андреев Ігор Анатолійович, Орел Олексій Юрійович; Заявка № u201605788, 12.06.2017; Опубл. 26.12.2017, Бюл.№3.
3. Patent № US 20180372417 Heat exchanger for cooling or heating bulk solids, Application No. 15/633,365, Date of Patent Dec. 27, 2018
4. Патент №114845 (UA), МПК 2006.01 F28D 7/00, F28F 9/00. Кожухотрубний теплообмінник з безпечним каналом/ Борисов Микола Анатолійович, Смирнов Андрій Віталійович, Серeda Роман Миколайович; Заявка № u201609013, 25.08.2016; Опубл. 27.03.2017, Бюл.№.6.
5. Patent № US 20160303533 Shell and tube heat exchanger with a shell having a polygonal section , Application No. 15/106,060, Date of Patent June. 25, 2015.
6. ГОСТ 5632 – 72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные.
7. Лашинский А. А. Конструирования сварных химических аппаратов - Л.: Машиностроение, 1981. – 385 с.
8. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі й чавуни: Навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад. І.А. Андреев, О.Г. Зубрій, І.О. Мікульонок,. - Київ : НТУУ „КПІ”, 1999. - 148 с.
9. ГОСТ 9940–81 Трубы безшовные горячедеформированные из коррозионно – стойкой стали.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

- 10.ГОСТ 9941–81. Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно – стойкой стали.
- 11.Основи охорони праці. Жидецький В.Ц. 2004.
- 12.Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
- 13.Yaws C.L. Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamics, Engironmental Transport, Safety and Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals. McGraw-Hill, 1999. – 772 p.
- 14.Июффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1991. – 352.
- 15.ГОСТ 14249 – 89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
- 16.Лашинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с
- 17.Конструювання фланцевих з'єднань сталених посудин та апаратів. Навч. Посібник / І. О. Мікульонок. – К.: ІСДО, 1997. – 151 с
- 18.Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень: Навч. посібник / В. Г. Доброногов, І. О. Мікульонок. – К.: ІСДО, 1995. – 184 с.\
- 19.Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию.2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
- 20.МікульонокІ. О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних виробництв. Навч. посібник– К НАУК ДУМКА, 1999 – 152 с.
- 21.Тимонин А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник, том 1, изд. 2-е, перер. и доп. Калуга – 2002, 847с.
- 22.Укладач : А. М. Задольський, канд.екон. наук, доц., О. О. Шаповаленко. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

бакалаврів (для студентів інженерно – хімічного факультету). Київ. – 2010. – 16 с.

23. Оформление графической документации. Методические указания к выполнению курсовых и дипломных проектов / Сост. В.Н. Марчевский. – 1989.

24. Требования к оформлению графической документации. Методические указания к выполнению курсовых и дипломных проектов / Сост. В.Н. Марчевский. – 1989.

25. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : В 3 т. Т.3. – М.: Машиностроение, 2001. – 864с.

26. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр». [Електронний ресурс]: для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад., А.Р. Степанюк, К.О. Гатілов,. - Київ : НТУУ „КПІ”, 2011. - 64 с.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Документація до патентного дослідження

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А. Патентний пошук.

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти конструкції проведений патентний пошук.

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН51.1.РП

Найменування теми Теплообмінник шифр теми ЛН51. 065116.000

Етап Проектування апарата та його основних частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

ЛН51.15.04.2019

Обґрунтування регламенту пошуку **Предмет пошуку:** - теплообмінник (Об'єктом пошуку є винаходи та корисні моделі).

Мета пошуку інформації – визначення патентної ситуації щодо теплообмінних апаратів (визначення патентноздатності проектованого апарата і визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

Визначення держав пошуку. Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, США.

Ретроспективність. Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, на корисну модель - 6 років, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 2017-2019 роки.

Класифікаційні індекси. Міжнародна патентна класифікація: МПК - F28D 1/00, F28D 1/053, F28D 7/00, F28F 1/42, F28F 9/00, F28F 9/02, F28F 9/12, F28F 13/00.

Джерела інформації. 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні бюлетені Укрпатенту 2) Науково-технічна інформація: монографії з тепломасообмінних процесів, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічних технологій.

Початок пошуку 15.04.2019 Закінчення пошуку 19.05.2019

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

Довідка про пошук № ЛН51.1.ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛН51.065116.000 .
(номер, дата)

Етап Проектування апарата та його складових частин .

Номер, дата регламенту пошуку ЛН51.1.РП, 15.04.2019 ,

Початок пошуку 15.04.2019 Закінчення пошуку 19.05.2019

Таблиця А.1 – Регламент пошуку (форма А.1 згідно ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
Теплообмінник	Визначення патентно-здатності проектового апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна, США.	F28D 1/00, F28D 1/053, F28D 7/00, F28F 1/42, F28F 9/00, F28F 9/02, F28F 9/12, F28F 13/00.	2017-2019	Національний й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей

Джерела інформації, які були використані під час проведення пошуку наведені в таблиці А.2.

Таблиця А.2 - джерела інформації. Використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5	6
Тепло-обмінник	Україна; США.	F28D 1/00, F28D 1/053, F28D 7/00, F28F 1/42, F28F 9/00, F28F 9/02, F28F 9/12, F28F 13/00	Державний патентний фонд бази даних об'єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті http://ep.espacenet.com/ http://base.ukrpatent.org http://www.google.com/patents	Описи винаходів патентів США № 2018007234 3 Описи корисних моделей патентів України № 121952. Описи корисних моделей патентів США № 2018037241 7. Описи винаходів патентів України № 114845 Описи винаходів патентів США № 2016030353 3	Дытнерский Ю.И. процессы и аппараты хим. Технологии: Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. – М.: Химия, 1992 – 384с. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии.–Л.: Химия, 1991.– 352 с. Звіти про НДР і ДКР.

У результаті проведення патентного пошуку для подальшого аналізу вибрані такі патентні документи (перелік згідно з таблиці А.3).

Таблиця А.3 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
Теплообмінник	Patent № US 20190072343 Compact heat exchanger, Application No. 16/122,263, Date of Patent Mar. 7, 2019	Діє
Теплообмінник	Патент №121952 (UA), МПК 2017.01 F28F 7/00. Кожухотрубний теплообмінник/ Мікульонок Ігор Олегович, Андреев Ігор Анатолійович; Заявка № u201705788, 12.06.2017; Опубл. 26.12.2017, Бюл.№24	Діє
Теплообмінник	Patent № US 20180372417 Heat exchanger for cooling or heating bulk solids, Application No. 15/633,365, Date of Patent Dec. 27, 2018	Діє
Теплообмінник	Патент №114845 (UA), МПК 2006.01 F28D 7/00, F28F 9/00. Кожухотрубний теплообмінник з безпечним каналом/ Борисов Микола Анатолійович, Смірнов Андрій Віталійович, Серєда Роман Миколайович; Заявка № u201609013, 25.08.2016; Опубл. 27.03.2017, Бюл.№.6.	Діє
Теплообмінник	Patent № US 20160303533 Shell and tube heat exchanger with a shell having a polygonal section , Application No. 15/106,060, Date of Patent June. 25, 2015	Діє

Аналіз новизни, винахідницького рівня та промислової придатності проєктованого об'єкта наведено в таблиці А.4.

Таблиця А.4 – Аналіз новизни, винахідницького рівня та промислової придатності проєктованого об'єкта

ОГД, його складові частини		Найближчий аналог		Очікуваний результат	Можливості використання у промисловості або іншій сфері діяльності	Номер поданої заявки, дата подачі заявки*
Назва	Сукупність ознак	Бібліографічні дані	Сукупність ознак			
1	2	3	4	5	6	7
Тепло-обмінник	А)горизонтальний корпус; Б)тепло-обмінні труби змінного діаметру зі спеціальним и вставками;		горизонтальний корпус; Б)тепло-обмінні труби; В)перегородки	Покращення турбулізації, зменшення пристінного ламінарного шару.	Можливе використання в хімічній нафтохімічній та інших галузях промисловості.	у 2018 01033, 01.02.2019.

Додаток Б

Комп'ютерний розрахунок елементів теплообмінника

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б. Програма розрахунку товщини стінки теплообмінника під дією внутрішнього надлишкового тиску.

Таблиця Б.2 – Таблиця ідентифікаторів

Найменування	Ідентифікатор	Розмірність
Розрахунковий тиск	P	МПа
Внутрішній діаметр	D	м
Допустиме напруження	Σ	МПа
Прибавка на корозію	C	м
Технологічна прибавка	C_1	м
Розрахункова товщина	Sr	м
Прийнята товщина	S	м
Допустимий тиск	$P_{\text{доп}}$	МПа
Коефіцієнт зварного шва	Φ	-
Висота еліптичної частини	H	м
Швидкість корозії	V	мм / рік

Б.3 Програма розрахунку еліптичного днища

Товщина еліптичного днища

Сталь 12Х18Н10Т

$$P = 0.1 \quad D = 1.4 \quad \sigma := 155$$

$$\varphi := 0.9$$

$$S_r := \frac{D \cdot P}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - 0.5P} = 5.019 \times 10^{-4}$$

$$S_r := 9$$

$$C := 1$$

$$S := S_r + C = 10$$

$$P_{\text{доп}} := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (S - C) \cdot 10^{-3}}{D + (S - C) \cdot 10^{-3}} = 1.782$$

$$0.1 < 1.782$$

$$H := 0.25 \cdot D = 0.35$$

$$h := 25$$

$$h_b := 240$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток В

Патенти, які використовувались в патентному дослідженні

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



US 20190072343A1

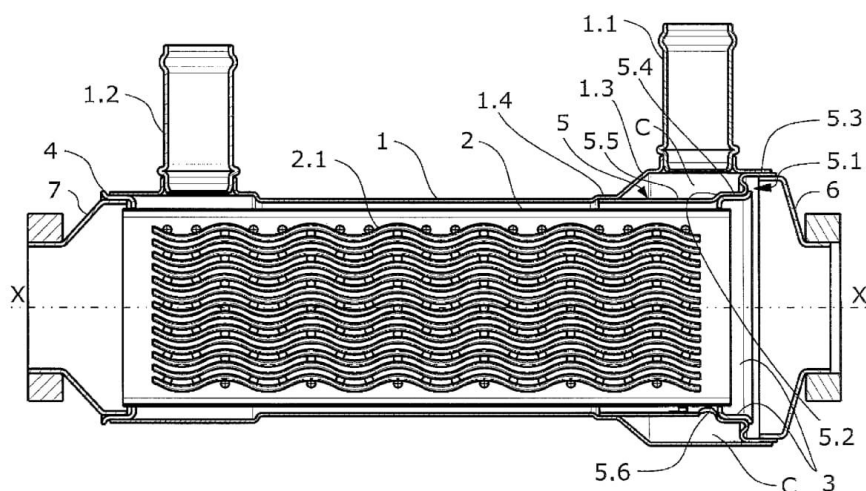
(19) **United States**(12) **Patent Application Publication****Carrera Garcia et al.**(10) **Pub. No.: US 2019/0072343 A1**(43) **Pub. Date: Mar. 7, 2019**(54) **COMPACT HEAT EXCHANGER****Publication Classification**(71) Applicant: **Borgwarner Emissions Systems Spain, S.L.U., Vigo (ES)**(51) **Int. Cl.**
F28F 9/26 (2006.01)
F28D 7/16 (2006.01)
F28D 21/00 (2006.01)(72) Inventors: **Julio Abraham Carrera Garcia, Vigo (ES); Xoan Xose Hermida Dominguez, Gondomar (ES)**(52) **U.S. Cl.**
CPC **F28F 9/26** (2013.01); **F28D 7/16** (2013.01); **F28D 2021/004** (2013.01); **F28F 2265/26** (2013.01); **F28D 21/0003** (2013.01)(73) Assignee: **Borgwarner Emissions Systems Spain, S.L.U., Vigo (ES)**(57) **ABSTRACT**

The present invention relates to a compact heat exchange device, applicable to either EGR (Exhaust Gas Recirculation) systems for reducing nitrogen oxide emission, or to WHRS systems (Waste Heat Recovery Systems), both in internal combustion engines.

The design of the heat exchanger is characterized by a configuration that incorporates technical solutions intended for compensating for the differential expansions between the tube bundle and the shell, as well as other variables relating to thermal fatigue, where said solutions result in a compact device.

(21) Appl. No.: **16/122,263**(22) Filed: **Sep. 5, 2018**(30) **Foreign Application Priority Data**

Sep. 6, 2017 (EP) EP17382595.1



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН51.065116.001 ПЗ

Арк.

106



УКРАЇНА

(19) UA (11) 121952 (13) U

(51) МПК (2017.01)

F28D 7/00

F28F 1/00

F28F 1/10 (2006.01)

F28F 1/40 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2017 05788	(72) Винахідник(и): Мікульонок Ігор Олегович (UA), Андреев Ігор Анатолійович (UA), Орел Олексій Юрійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 12.06.2017	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.12.2017	(73) Власник(и): Мікульонок Ігор Олегович, вул. Райдужна, 10, кв. 137, м. Київ, 02218 (UA), Андреев Ігор Анатолійович, пр-кт Леся Курбаса, 18, кв. 136, м. Київ, 03162 (UA), Орел Олексій Юрійович, вул. Маяковського, 16, м. Бобровиця, Чернігівська обл., 17400 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.12.2017, Бюл.№ 24	

(54) КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК

(57) Реферат:

Кожухотрубний теплообмінник містить корпус, штуцери, а також дві трубні решітки із закріпленими в них теплообмінними трубами. Теплообмінні труби заповнено невідповідно розміщеними в них насадковими тілами з теплопровідного матеріалу. Насадкові тіла виконано у вигляді металевих перфорованих кільцевих циліндрів.

UA 121952 U

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



US 20180372417A1

(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication** (10) **Pub. No.: US 2018/0372417 A1**
(43) **Pub. Date: Dec. 27, 2018**

(54) **HEAT EXCHANGER FOR HEATING OR COOLING BULK SOLIDS**

(52) **U.S. CL.**
CPC **F28D 15/04** (2013.01)

(71) Applicant: **SOLEX THERMAL SCIENCE INC.**,
Calgary (CA)

(57) **ABSTRACT**

(72) Inventors: **Ashley D. BYMAN**, Heritage Pointe
(CA); **Xingcun HUANG**, Richmond
Hill (CA); **Robert MCGILLIVRAY**,
Calgary (CA)

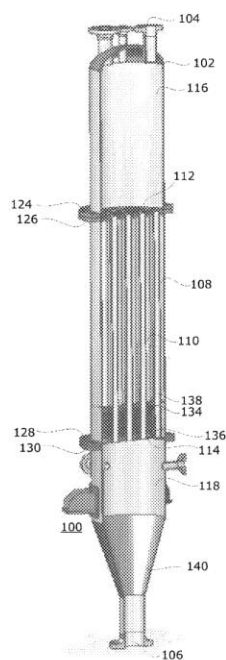
A heat exchanger, for heating or cooling bulk solids, includes a housing including an inlet for receiving the bulk solids, an outlet for discharging the bulk solids, and a heat exchange chamber disposed between the inlet and the outlet. The heat exchanger also includes spaced apart heat transfer tubes supported within the housing, between the inlet and the outlet, and extending through the heat exchange chamber, for indirect heat exchange of a heat exchange medium in the heat exchange chamber with the bulk solids that flow, by gravity, from the inlet, and through the heat transfer tubes, toward the outlet. The heat transfer tubes include a first end for receiving the bulk solids, and a second end for release of bulk solids. At least one of the first end and the second end is moveable relative to the housing to accommodate thermal expansion or contraction.

(21) Appl. No.: **15/633,365**

(22) Filed: **Jun. 26, 2017**

Publication Classification

(51) **Int. Cl.**
F28D 15/04 (2006.01)



					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



УКРАЇНА

(19) UA (11) 114845 (13) U
(51) МПК (2017.01)
F28D 7/00
F28F 9/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

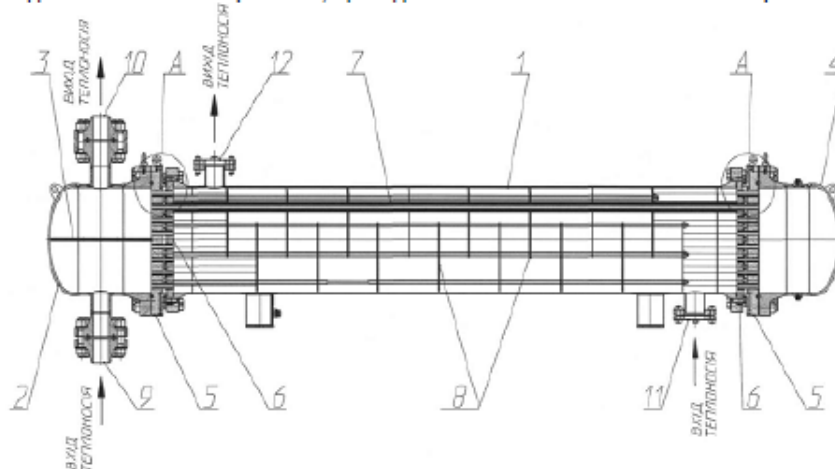
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2016 09013
(22) Дата подання заявки: 25.08.2016
(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: 27.03.2017
(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: 27.03.2017, Бюл.№ 6

(72) Винахідник(и):
Смірнов Андрій Віталійович (UA),
Середа Роман Миколайович (UA),
Борисов Микола Анатолійович (UA)
(73) Власник(и):
ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
"СУМСЬКЕ МАШИНОБУДІВНЕ НАУКОВО-
ВИРОБНИЧЕ ОБ'ЄДНАННЯ",
вул. Горького, 58, м. Суми, 40004 (UA)

(54) КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК З БЕЗПЕЧНИМ КАНАЛОМ**(57) Реферат:**

Кожухотрубний теплообмінник з безпечним каналом складається з циліндричного корпусу, пучка біметалевих труб, торцевих кришок, трубних решіток, патрубків підводу та відводу теплоносіїв. Пучок виконано з біметалевих ребристих з зовнішньої поверхні труб, що мають безпечні повітряні спіральні канали, виконані на зовнішній поверхні внутрішніх труб, виходи яких поєднано в сигнальні порожнини, що з'єднані з системою автоматики та контролю.



Фіг. 1

UA 114845 U



(12) **United States Patent**
Rizzi

(10) **Patent No.:** **US 9,919,281 B2**
(45) **Date of Patent:** **Mar. 20, 2018**

(54) **SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER
WITH A SHELL HAVING A POLYGONAL
SECTION**

(71) Applicant: **Casale SA**, Lugano (CH)

(72) Inventor: **Enrico Rizzi**, Casnate con Bernate (IT)

(73) Assignee: **Casale SA**, Lugano (CH)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 115 days.

(21) Appl. No.: **15/106,060**

(22) PCT Filed: **Dec. 16, 2014**

(86) PCT No.: **PCT/EP2014/077902**

§ 371 (c)(1),

(2) Date: **Jun. 17, 2016**

(87) PCT Pub. No.: **WO2015/091442**

PCT Pub. Date: **Jun. 25, 2015**

(65) **Prior Publication Data**

US 2016/0303533 A1 Oct. 20, 2016

(30) **Foreign Application Priority Data**

Dec. 18, 2013 (EP) 13197955

(51) **Int. CL**
B01J 19/00 (2006.01)
B01J 19/24 (2006.01)

(Continued)

(52) **U.S. CL**
CPC **B01J 19/0013** (2013.01); **B01J 19/2415**
(2013.01); **C01C 1/02** (2013.01);

(Continued)

(58) **Field of Classification Search**

CPC B01J 19/00; B01J 19/0006; B01J 19/0013;
B01J 19/24; B01J 19/2415;

(Continued)

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,797,569 A 3/1974 Meder et al.
4,147,208 A 4/1979 Naegelin

(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

CN 201772781 U 3/2011
DE 1 501 045 A1 4/1969

(Continued)

OTHER PUBLICATIONS

International Search Report issued in connection with PCT/EP2014/
077902.

(Continued)

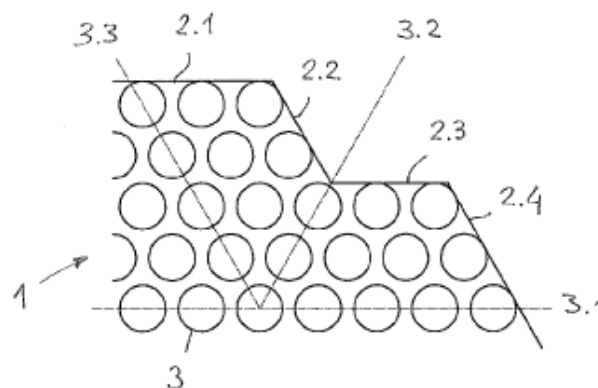
Primary Examiner — Natasha Young

(74) Attorney, Agent, or Firm — Akerman LLP

(57) **ABSTRACT**

Heat exchanger comprising a tube bundle (1) and a shell (2) which surrounds said tube bundle, said tube bundle comprising tubes (3) arranged with a square or triangular pitch, wherein said shell (2) has a cross-section, in a plane perpendicular to said tubes, having the form of an irregular polygon; said irregular cross-sectional polygon has a number of sides which is a multiple of three or multiple of four for tube bundles with a triangular or square pitch, respectively; the sides of said cross-sectional polygon are parallel to the directional lines of the tubes.

9 Claims, 5 Drawing Sheets



Додаток Г

Публікації автора

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

студента групи ЛН-51

ГАВРИЛЕНКО ВАЛЕРІЙ ВАДИМІВНИ

1. Заявка на патент України №201901033 «Кожухотрубний теплообмінник»; дата подання 01.02.2019; заявн.: Гавриленко В.В., Сачок Р.В.

2. Виробництво бензину із застосуванням установи ЕЛОУ-АВТ / Гавриленко В.В., Сачок Р. В., // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»: XXIV всеукраїнська наукова-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ 22-23 квітня 2019р.): зб. тез доп. –К.: НТУУ «КПІ», 2019р. – Секція 1. – 9-10 .

3. Вдосконалення кожухотрубного теплообмінника для отримання бензину / Гавриленко В.В., Сачок Р. В., // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»: XXIII всеукраїнська наукова-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ 28-29 листопада 2018р.): зб. тез доп. –К.: НТУУ «КПІ», 2018р. – Секція 1. – 6-7.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ

**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ"
(УКРПАТЕНТ)**

вул. Глазунова, 1, м. Київ-42, 01601, Україна Тел.: (044) 494-05-05 Факс: (044) 494-05-06
E-mail: office@ukrpatent.org

06.05.2019 № 10831/ЗУ/19

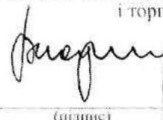
Висновок, затверджений Міністерством
економічного розвитку і торгівлі України,
набув статусу **рішення про видачу
деклараційного патенту на корисну
модель**

Адреса для листування
Сачок Роман Володимирович, вул.
Ольжича, 13, кв. 39, м. Київ-060, 04060

Стосується заявки № у 2019 01033
/ при листуванні просимо посилатися на цей № /

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор департаменту інтелектуальної
власності Міністерства економічного розвитку
і торгівлі України



(підпис)

В.О.Жалдак

**Висновок про видачу деклараційного патенту на корисну модель за результатами
формальної експертизи**

(21) Ресстраційний номер заявки **у 2019 01033**(22) Дата подання **01.02.2019**

(71) Заявник(и)

ГАВРИЛЕНКО ВАЛЕРІЯ ВАДИМІВНА, САЧОК РОМАН ВОЛОДИМИРОВИЧ

(72) Повне ім'я винахідника(ів)

Гавриленко Валерія Вадимівна, Сачок Роман Володимирович

(73) Власник(и) патенту

Гавриленко Валерія Вадимівна,
вул. Межигірська, 50, В. 9, м. Київ, 04081, UA,
Сачок Роман Володимирович,
вул. Ольжича, 13, кв. 39, м. Київ-060, 04060, UA

(51) МПК (2019.01)

F28F 1/00

Оригіналом цього документа є електронний документ з
відповідними реквізитами, у тому числі з накладеним
електронним цифровим підписом уповноваженої особи
Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та
сформованою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 0040080419.

Паперовий примірник цього документа є ідентичною за
документарною інформацією та реквізитами паперовою
копією зазначеного електронного документа.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ІДС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розташована на сторінці <http://base.uipv.org/searchInvStat/>
2. Виконати пошук за номером заявки.
3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з ресстраційним номером документа натиснути кнопку «Завантажити оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН51.065116.001 ПЗ

Арк.

113

(54) Назва корисної моделі

КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК

За результатами формальної експертизи, проведеної відділом Державного підприємства "Український інститут інтелектуальної власності" відповідно до ч. 8 ст. 16 Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" (далі - Закон), встановлено, що заявка **відповідає вимогам** ст. 12 Закону.

Обсяг правової охорони визначається формулою корисної моделі, що додається.

Державна реєстрація деклараційного патенту України на корисну модель відповідно до ч. 2 ст. 22 Закону буде здійснена за умови сплати **державного мита** за його видачу і **збору** за публікації про видачу деклараційного патенту. Згідно з Порядком сплати зборів за дії, пов'язані з охороною прав на об'єкти інтелектуальної власності, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 23.12.2004 р. № 1716 із змінами, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 19.09.2007 № 1148, (далі - Порядок), розмір цього збору (код 12400) становить 10 грн , оскільки заявка містить сумарно 5 аркушів опису, креслень, формули корисної моделі і реферату.

Додаток до рішення: на 1 арк.

Заступник начальника відділу

В.А. Мельник

Виконавець Явтушинська І.В.
Телефон 494-05-47

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

УДК 628.5.66.002.08

ВИРОБНИЦТВО БЕНЗИНУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ

УСТАНОВКИ ЕЛОУ-АВТ

студент Гавриленко Є.В., ст.викл., к.т.н. Сачок Р.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бензин – суміш вуглеводнів різної будови, безбарвна рідина з межами кипіння 33-205°C. Температура замерзання нижче – 60°C, температура спалаху нижче 0°C, густина – 700—780 кг/м³. [1]

Принципова технологічна схема установки отримання бензину представлена на рисунку 1.

Знесолена нафта після нагрівання в трубчастій печі 1 надходить на перегонку в атмосферну колону 2. Розрахункова температура живлення колони 362 °C забезпечує масову частку відгону нафти на рівні сумарного відбору дистилятів фракцій – 54,3%. [2]

Пари бензину, що відводяться з верху колони, конденсуються в два ступені. На першій забезпечується більш низький вміст газоподібних вуглеводнів в складі зрошення, ніж у дистиляті. Газова і рідка фази бензину, що не зконденсувались, спільно додатково охолоджуються і надходять в сировинну ємність 6 дебутанізатора 7. У разі переробки нафти з підвищеним вмістом газу (C₂-C₄) – 2%, проти 1,1% в проектному сировині – частина стабільного бензину подається в якості абсорбенту в потік бензину після сепаратора 5. [2]

З атмосферної колони 2 через відпарну колону 3 одночасно відбирають три бічних погона: фракцію 140-250 °C і два компонента дизельного палива – фракцію 250-320 °C і фракцію 320-380 °C.

Залишком атмосферної колони є мазут. До низу атмосферної колони й відпарних колон 3 подається перегріта водяна пара.

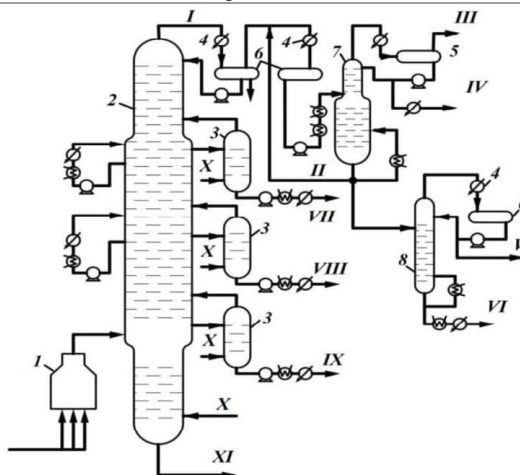


Рисунок 1 – Комбінована установка ЕЛОУ-АВТ дворового випаровування нафти:

1 - трубчаста піч; 2 - атмосферна колона; 3 - відпарна колона; 4 - конденсатор, холодильник; 5 - газосепаратор; 6 - ємність; 7 - дебутанізатор бензину; 8 - колона вторинної перегонки бензину, 8 — вакуумна колона.

I - бензин; II - стабільний бензин; III - сухий газ; IV - зріджена фракція $C_2 - C_4$, V - фракція $C_5 - 90^\circ C$; VI - фракція $90 - 140^\circ C$; VII - фракція $110 - 250^\circ C$; VIII - фракція $250 - 320^\circ C$; IX - фракція $320 - 380^\circ C$; X - водяна пара; XI - мазут;

Відбір суми світлих дорівнює 95% від вмісту в нафті фракцій до $380^\circ C$.

Фізична стабілізація бензину проводиться в дебутанізаторі 7. Відбір скрапленого газу становить 94,5% від потенціалу. Стабільний бензин містить 0,5% бутану і 0,0005% сірководню. Він витримує випробування на мідній пластинці, що не потребує залуження.

Вторинної перегонки в колоні 7 піддається приблизно 62% стабільного бензину, що пов'язано з обмеженою потребою у фракції $90 - 140^\circ C$, одержуваної з низу цієї колони, з верху колони 7 відбирають фракцію $C_5 - 90^\circ C$.

Перелік посилань:

1. <http://vseslova.com.ua/word/%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D0%BD-10132u>

2. Справочник нефтепереработчика: Справочник / Под ред. Г.А. Ластовкина, Е.Д. Радченко и М.Г. Рудина. – Л.: Химия, 1986 – 648 с., ил.

УДК 628.5.66.002.08

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМІННИКА ДЛЯ ОТРИМАННЯ БЕНЗИНУ

студент Гавриленко Є.В., к.т.н., ст. викладач Сачок Р.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Однією з важливих народногосподарських проблем є підвищення паливної економічності бензину, що дозволить збільшити коефіцієнт корисної дії двигунів внутрішнього згоряння і подовжити термін їх використання, відповідно знизивши металоємність двигуна, збільшивши його потужність й подовживши експлуатаційний термін роботи автомобіля. Вдосконалення процесів отримання бензину у нафтопереробній промисловості дозволить ефективніше використовувати ресурси нафти. [1]

Для охолодження отриманого бензину в установці ЕЛОУ-АВТ дворазового випаровування нафти використовуються кожухотрубний теплообмінник, який характеризуються стійкістю до гідроударів, зниженими вимогами до чистоти середовищ, відносно високим коефіцієнтом теплопередачі і, як наслідок, малими габаритами та технологічними площами, необхідними для обслуговування, а також невеликою ціною через порівняно низьку металоємність. [2]

Метою модернізації теплообмінника є збільшення енергоефективності процесу отримання бензину шляхом підвищенні ефективності тепловіддачі. Поставлена задача вирішується встановленням у корпус кожухотрубного теплообмінника теплообмінних труб зі змінним поздовжнім профілем, в яких розміщують спеціальні вставки.

Кожухотрубний теплообмінник містить розподільну камеру 2 з кришкою 1, з'єднану з кожухом 3, теплообмінні труби з перемінним поздовжнім профілем 4, у якому розміщені спеціальні вставки 11, рисунок 1, 2, перегородки 5 із сегментними вирізами, штуцера 6 для міжтрубного простору, штуцера 7 для

трубного простору і кришку кожуха 8, всередині якої розміщена кришка плаваючої головки 9. Розподільна камера 2 розділена перегородкою 10.

Незакріплена на кожусі 3 друга трубна решітка разом з внутрішньою кришкою 9, що відокремлює трубний простір від міжтрубного, утворює плаваючу головку. Запропонована конструкція виключає температурні напруги в кожусі 3 і трубах 4. [3]

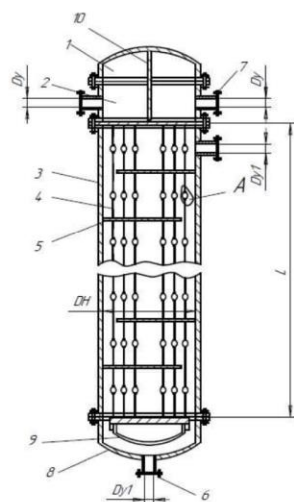


Рисунок 1 – Загальний вигляд кожухотрубного теплообмінника

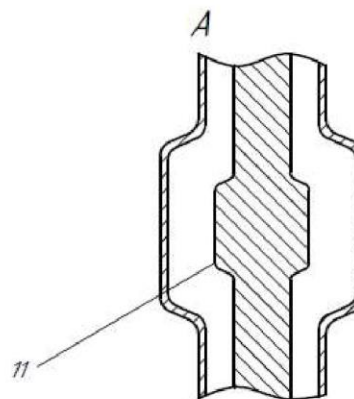


Рисунок 2 – Розріз зі спеціальними вставками

Результатом вдосконалення є підвищення, коефіцієнту тепловіддачі та відповідне зменшення площі, що використовується. Також отримано можливість регулювання за конденсатом, що дозволяє підвищити енергоефективність процесу.

Перелік посилань:

1. <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=22194>
2. Справочник нефтепереработчика: Справочник / Под ред. Г.А. Ластовкина, Е.Д. Радченко и М.Г. Рудина. – Л.: Химия, 1986 – 648 с., ил.
3. Заявка на патент №U201901033 МПК (2016). Кожухотрубный теплообменник /заявники Сачок Р.В., Гавриленко В.В.; заявл.01.02.19.